

POUR DES QUARTIERS RÉSILIENTS ET MULTIMODAUX À MONTRÉAL : ANALYSE DE LA VULNÉRABILITÉ
CLIMATIQUE DE TROIS QUADRILATÈRES

Par

Mali Ilse Paquin

Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable en
vue de l'obtention du grade de maitre en environnement (M. Env.)

Sous la direction de Louise Hénault-Ethier

MAITRISE EN GESTION DE L'ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Novembre 2020

SOMMAIRE

Mots-clés : résilience, villes, vulnérabilité climatique, îlot de chaleur urbain, surverse, phytotechnologie, infrastructure naturelle, mobilité durable, aménagement urbain, changements climatiques, Montréal.

L'humanité est à un moment charnière de son histoire. Elle entrevoit les premiers signes d'un effondrement climatique imminent qu'elle seule peut freiner. D'une année à l'autre, les aléas climatiques se font plus sévères, particulièrement dans les villes. Plus d'un demi-siècle d'urbanisation intensive a mené tout droit vers des collectivités nord-américaines fragilisées, c'est-à-dire centrées sur les voitures, minéralisées et dépourvues de couvert végétal. Un héritage toxique pour les administrations municipales d'aujourd'hui, aux prises avec des territoires qui deviennent inhospitaliers, voire dangereux, à la première pluie abondante ou vague de chaleur. Désormais, la résilience climatique incarne la dernière planche de salut pour les villes du 21^e siècle.

Cet essai se penche sur deux enjeux climatiques majeurs à Montréal : les îlots de chaleur urbains et les débordements d'égouts dans les cours d'eau, communément appelés « surverses ». L'objectif général est de convertir un quadrilatère vulnérable à ces deux enjeux en îlot de résilience climatique et multimodal grâce entre autres à une reconfiguration routière et à l'ajout de phytotechnologies et d'infrastructures naturelles. Pour y parvenir, une grille d'analyse comportant dix critères a été développée pour comparer la vulnérabilité de trois quadrilatères montréalais; ceux-ci avaient comme point commun la présence d'une cour d'école fortement minéralisée.

Le quadrilatère de l'école Saint-Anselme, qui s'est révélé le plus vulnérable des trois, fait l'objet de plusieurs recommandations spécifiques à l'attention de l'arrondissement Ville-Marie : un retrait important de l'espace réservé à la voiture; l'ajout de corridors d'arbres dotés de fosses continues et drainantes; l'intégration d'un réseau de biorétentions; la végétalisation des toitures d'édifices accueillant des groupes vulnérables; le verdissement de la cour d'école. Puisque la Ville de Montréal est en position de guider et d'outiller les arrondissements, six recommandations structurantes lui sont adressées. Parmi celles-ci, la Ville est encouragée à produire un plan de résilience pour chaque aléa climatique -plutôt qu'un seul plan global- qui intégrerait un vaste programme d'implantation de phytotechnologies et d'infrastructures naturelles. Des amendements réglementaires sont recommandés pour enlever les freins à la végétalisation des toits. Un programme collaboratif de reboisement ciblant l'est de Montréal est également proposé. La participation des parties prenantes est intégrée à la majorité des recommandations, qui comprennent la création d'un budget participatif pour les projets citoyens de végétalisation. Enfin, la Ville est invitée à développer conjointement avec des experts un modèle montréalais d'îlot résilient multimodal et végétalisé.

REMERCIEMENTS

Cet essai est le point culminant d'une superbe expérience académique. Je tiens d'abord à remercier du fond du cœur ma mère Diane Alice Paquin pour son soutien et son amour inconditionnel, et sans qui je n'aurais pu réaliser cette maîtrise. Cet accomplissement est aussi le sien. Merci aussi à mon père Michel Bartolini pour ses encouragements et son enthousiasme pour mes études.

Je remercie ma directrice d'essai Louise Hénault-Ethier pour sa rigueur et son grand investissement dans le succès de cet essai. Merci Louise pour ton accompagnement et pour m'avoir poussée à me dépasser. Je me sentais entre bonnes mains hors de mes zones de confort. Avoir une directrice d'essai qui fait de la planche à roulettes, c'est aussi très cool.

Un grand merci à Maxime Fortin Faubert pour m'avoir aidée avec la production des cartes nécessaires à l'analyse multicritère. Je t'en dois une. Merci à Caroline Johnson d'avoir illustré avec soin l'aménagement d'une de mes recommandations. Merci aussi à Marc-André Guertin et François Innes d'avoir pris le temps de me conseiller à certains moments charnières de l'essai.

Un séjour a été réalisé à Barcelone pour visiter les « super ilots » dont je parle dans cet essai. Merci au professeur en aménagement de l'Université de Montréal Daniel Pearl d'avoir rendu ce voyage possible, Dieu merci avant la pandémie. Daniel tu as été d'une grande générosité et j'espère collaborer avec toi de nouveau.

J'aimerais saluer particulièrement deux dames du Centre universitaire de formation en environnement qui ont été très disponibles quand j'avais des questionnements : Geneviève Desroches et Judith Vien. Merci pour votre rapidité de réponse et votre sollicitude.

Enfin, je voudrais saluer quelques coéquipières de travaux d'équipe avec qui j'ai eu beaucoup de plaisir. Margo, Iva, Ayumi, Laura et Kalea, merci pour les fous rires et les discussions passionnantes.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1. RÉSILIENCE CLIMATIQUE URBAINE	4
1.1 Théorie de l'écologie urbaine	4
1.2 Types de résilience et définitions	5
2. ENJEUX CLIMATIQUES.....	8
2.1 Ilots de chaleur urbains	8
2.1.1 Causes des ICU	10
2.1.2 Impacts des ICU	13
2.2 Les surverses	15
2.2.1 Causes des surverses	17
2.2.2 Impacts des surverses	18
3. SOLUTIONS D'INFRASTRUCTURES NATURELLES ET DE PHYTOTECHNOLOGIES	21
3.1 Phytotechnologies	21
3.1.1 Aires de biorétention (jardins de pluie)	21
3.1.2 Toits végétalisés	26
3.2 Infrastructures naturelles	30
3.2.1 Arbres	30
4. STRATÉGIES DE RÉSILIENCE : DE MONTRÉAL À BARCELONE.....	34
4.1 Montréal met le cap sur la canopée	34
4.2 Des oasis pour les écoliers de Paris	37
4.3 Barcelone s'attaque aux voitures	39
4.4 New York aime les biorétentions.....	40
4.5 Toronto voit les toits en vert	43
5. ANALYSE MULTICRITÈRE ET MÉTHODOLOGIE.....	45
5.1 Quadrilatères à l'étude	45
5.2 Conception de la grille d'analyse	50
5.2.1 Critères d'analyse	51

5.2.2 Observations et limites.....	58
5.2.3 Pondération et notation	60
5.3 Résultats	61
6. RECOMMANDATIONS	64
6.1 Recommandations spécifiques au quadrilatère Saint-Anselme.....	64
6.2 Recommandations structurantes à l’attention de la Ville de Montréal.....	77
CONCLUSION.....	92
RÉFÉRENCES.....	95
ANNEXE 1 – MÉTHODOLOGIE ET CALCULS POUR L’ÉVALUATION DES CRITÈRES	110

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1.1	Présentation des principaux services écosystémiques et de leurs impacts sur le bien-être humain	6
Figure 2.1	Carte des ilots de chaleur dans le Grand Montréal	9
Figure 2.2	Graphique présentant l'évolution du nombre de nuits avec humidex égal ou supérieur à 30 °C à Montréal	10
Figure 2.3	Variations des températures de surface et de l'air selon la morphologie urbaine	12
Figure 2.4	Carte de Montréal identifiant l'emplacement d'ilots de chaleur et du réseau routier	13
Figure 2.5	Carte des réseaux d'égouts séparatif et unitaire sur l'île de Montréal	16
Figure 2.6	Nombre de jours de pluies de 30 mm et plus à Montréal	17
Figure 2.7	Bilan de la qualité de l'eau sur les rives de Montréal en 2018	19
Figure 2.8	Les citoyens de Copenhague peuvent à nouveau se baigner dans les eaux portuaires suite à des rénovations majeures du réseau d'égout	20
Figure 3.1	Aire de biorétention avec infiltration complète	23
Figure 3.2	Aire de biorétention à filtration seulement	24
Figure 3.3	Composants d'une aire de biorétention à filtration partielle avec bandes de végétation et de gravier filtrantes	25
Figure 3.4	Vue en coupe d'un toit végétalisé intensif	28
Figure 3.5	Vue en coupe d'un toit végétalisé extensif	28
Figure 3.6	Fonctions d'interception et d'évapotranspiration des eaux pluviales d'un arbre	31
Figure 3.7	Exemples d'aménagement de trottoirs avec structure cellulaire à gauche et piliers à droite pour optimiser l'espace du sol et des racines de l'arbre	33
Figure 4.1	Aires de biorétention de l'avenue Papineau à Montréal	35
Figure 4.2	Exemple de cours « Oasis » à Paris	38
Figure 4.3	Configuration routière avant et après l'implantation d'un super ilot à Barcelone	39
Figure 4.4	Carte de New York identifiant les aires d'égout unitaire, les aires prioritaires d'intervention et les ouvrages complétés et projetés	42
Figure 5.1	Délimitation du quadrilatère Saint-Anselme	47
Figure 5.2	Délimitation du quadrilatère Saint-Gabriel-Lalemant	48
Figure 5.3	Délimitation du quadrilatère des Nations	50

Figure 5.4	Carte identifiant les secteurs exposés aux inondations causées par le ruissellement excessif	59
Figure 6.1	Localisation de la recommandation 1 sur la rue de Rouen	65
Figure 6.2	Illustration d'un système de drainage des fosses d'arbres continues communiquant avec des structures cellulaires sous les trottoirs	67
Figure 6.3	Vue en coupe de l'aménagement actuel de la rue de Rouen	68
Figure 6.4	Vue en coupe du nouvel aménagement résilient proposé sur la rue de Rouen	69
Figure 6.5	Localisation de la recommandation 2 sur la rue Hochelaga.....	70
Figure 6.6	Les cellules de biorétention en réseau de New York à infiltration complète	71
Figure 6.7	Localisation de la cour de l'école Saint-Anselme.....	74
Figure 6.8	Vue panoramique de la cour de l'école Saint-Anselme.....	75
Figure 6.9	Localisation des toitures visées à la recommandation 4	76
Figure 6.10	Toit maraîcher du centre alimentaire Santropol roulant à Montréal	83
Tableau 3.1	Comparaison entre les deux principaux types d'aires de biorétention.....	23
Tableau 3.2	Performance des toits végétalisés extensifs et intensifs en comparaison avec les toits blancs	29
Tableau 4.1	Proportion de la végétalisation des toits exigée par la ville de Toronto	43
Tableau 5.1	Grille d'évaluation multicritère de la vulnérabilité face aux îlots de chaleur urbains et aux surverses	53
Tableau 5.2	Détermination des coefficients de pondération des critères.....	60
Tableau 5.3	Résultats de l'évaluation pondérée des quadrilatères sur une échelle de 0 à 1 pour l'ensemble des critères	61
Tableau 6.1	Sommaire des recommandations spécifiques et des recommandations structurantes.....	88

LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

AEU	Agence d'écologie urbaine de Barcelone
CMM	Communauté métropolitaine de Montréal
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
GES	Gaz à effet de serre
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
ICU	Ilôt de chaleur urbain
INP	Infrastructures naturelles et phytotechnologies
INSPQ	Institut national de santé publique du Québec
MAMROT	Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire
MDDEFP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs
PBDE	Polybromodiphényléthers
RBQ	Régie du bâtiment du Québec
VAS	Voies actives sécuritaires

INTRODUCTION

« Si nous voulons que rien ne change, il faut que tout change » (Visconti, 1963)

« Aucun système ne peut être plus résilient que celui où les perturbations et les catastrophes font partie de l'ADN » (York et Jacob, 2020)

L'année 2020 aura été celle de bien des bouleversements. En filigrane d'événements majeurs, dont la pandémie de COVID-19, la planète a présenté des signes d'effondrement climatique d'une ampleur inédite. Des incendies dévastateurs en Australie ont marqué le début de l'année, menaçant d'extinction des espèces emblématiques de ce pays (Wintle et al., 2020). Dans la région arctique, une région sibérienne de la taille de la Grèce a été ravagée par les flammes suite à des records de chaleur en juin (Radio-Canada, 2020, 21 juin). Des records ont aussi été fracassés à répétition au Québec, où le mercure a dépassé le cap des 30 °C pendant quatorze jours en juillet (Trudel, 31 juillet 2020). Pandémie ou pas, les nations sont appelées à réduire de 7,6 % par année leurs émissions de gaz à effet de serre (GES) d'ici 2030 afin de limiter le réchauffement planétaire à 1,5 °C (United Nations Environment Programme, 2019).

Les grandes villes sont parfois tenues responsables de l'urgence climatique; occupant seulement 1 % de la superficie de la Terre, elles produiraient plus de 60 % des émissions mondiales de GES (Agence France-Presse, 2017, 30 mai). Le portrait change cependant lorsque les émissions sont ramenées *per capita*. Les citoyens des villes nord-américaines densément peuplées ont une empreinte carbone jusqu'à 75 % plus faible que s'ils vivaient en banlieue, une économie largement attribuable aux modes de transport collectif et actif au détriment de l'« auto solo » (Hoornweg et al., 2011; Lee et Lee, 2014; Sanders, 2014). Vivre en ville offre donc, malgré les apparences, un style de vie écoresponsable.

Si l'*homo urbanus* n'est pas le plus grand émetteur de GES, il subit cependant l'escalade des aléas climatiques. En ville, les caractéristiques du parc bâti encouragent la formation d'îlots de chaleur urbains, c'est-à-dire des zones où la température est significativement plus élevée que dans les espaces verts à proximité, et le demeure après le coucher du soleil (Anquez et Herlem, 2011). Les pluies abondantes quant à elles provoquent divers enjeux environnementaux tels que les débordements d'égouts. Communément appelés « surverses », ceux-ci désignent les déversements d'eaux usées et d'eaux pluviales dans les cours d'eau lorsque le réseau d'égout est saturé en période de fortes précipitations ou de fonte des neiges. Les impacts de ces épisodes se traduisent en pertes humaines et économiques. Par exemple, la première canicule de l'été 2018 au Québec a causé 86 décès dans dix régions analysées par l'Institut national de santé publique du Québec (Lebel, Dubé et Bustinza, 2019).

De grands défis stratégiques et pécuniaires s'annoncent pour l'avenir. À l'horizon 2100, les villes pourraient s'échauffer jusqu'à 8 °C selon une modélisation de 1 692 villes à travers le monde. Les changements climatiques seraient responsables de 5 °C, alors que les îlots de chaleur contribueraient à hauteur de 3 °C. (Agence France-Presse, 2017, 30 mai) De par sa proximité aux populations vulnérables et ses pouvoirs en matière d'aménagement du territoire, les villes devront assumer jusqu'à 80 % des coûts de l'adaptation aux changements climatiques (Banque mondiale, 2016). Pour la période de 2020 à 2025 seulement, la facture a été évaluée à deux milliards de dollars pour les dix plus grandes villes de la province selon l'Union des municipalités du Québec (2019). Leur rôle sera fondamental, d'autant plus que 50 % à 70 % des mesures d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques relèvent de l'échelle locale (World Wide Fund, 2018).

La résilience climatique est le nouvel impératif, et un réaménagement majeur des villes s'impose pour l'atteindre (Communauté métropolitaine de Montréal, 2018; Ministère de la Sécurité publique, 2018). Si l'aménagement urbain du siècle dernier a contribué à la crise actuelle, par exemple en causant un verrouillage infrastructurel à la voiture, de nouvelles pratiques intégrant des infrastructures naturelles et des phytotechnologies permettraient de corriger les erreurs du passé. La Ville de Montréal a produit un premier Plan d'adaptation aux changements climatiques pour la période 2015-2020; toutefois, elle préfère pour le moment accompagner en la matière les services centraux, arrondissements et municipalités liées plutôt que de créer un programme de résilience global et fédérateur (Ville de Montréal, 2017a). Pourtant, des transformations majeures sont prévues pour des quartiers importants, tels que ceux des Faubourgs et de Namur-Hippodrome (Ville de Montréal, 2019b; Ville-Marie, 2020a). L'occasion est belle de développer un outil d'analyse de la vulnérabilité climatique afin d'orienter les interventions de résilience sur le terrain.

En réponse aux énormes besoins de résilience actuels et futurs, l'objectif de cet essai est de développer une proposition d'îlot de résilience climatique et multimodal adapté au contexte de Montréal. En clair, un quadrilatère montréalais qui aura été sélectionné suite à une analyse de vulnérabilité climatique fera l'objet de recommandations pour rehausser sa résilience. La structure de l'essai est construite en fonction des objectifs spécifiques pour atteindre sa visée générale. Le premier chapitre présente l'écologie urbaine, un champ d'expertise dont les chercheurs étudient la contribution de la biodiversité urbaine à la résilience des villes. La résilience est un thème cher aux écologistes urbains et quelques-unes de leurs définitions sont proposées. Au second chapitre, la vulnérabilité climatique qui sera l'objet de l'analyse multicritère est délimitée. Les chercheurs conçoivent généralement la vulnérabilité comme le contraire de la résilience (Cariolet et al., 2019) et cette optique est adoptée ici. Deux enjeux climatiques sont au cœur de cet essai : les îlots de chaleur urbains (ICU) et les surverses. Cette section décrit comment la minéralisation, la diminution du

couvert végétal et les infrastructures anthropiques perturbent les cycles hydrauliques naturels et provoquent ces phénomènes dommageables. Dans une perspective de développement durable, une exploration de leurs impacts sur les sphères sociale, économique et environnementale clôture le second chapitre.

Une multitude d'infrastructures naturelles et de phytotechnologies (INP) peuvent contribuer à la résilience climatique en zone urbaine. Le troisième chapitre présente trois INP retenues spécifiquement pour leur capacité à réduire les eaux de ruissellement (et donc les occurrences de surverses) et l'intensité des ICU : les aires de biorétention, les toits végétalisés et les arbres (corridors verts). Les services écologiques qu'elles rendent et les détails techniques pour une implantation optimale complètent le portrait. Le quatrième chapitre suit avec un tour d'horizon des mesures d'adaptation climatique à Montréal et une veille sur des stratégies inspirantes à Paris, Barcelone, New York et Toronto qui pourraient être adaptées au contexte de la métropole.

Le cinquième chapitre représente le point culminant : l'élaboration d'un outil innovant d'analyse de la vulnérabilité en lien avec les ICU et les surverses. Le chapitre débute par une présentation des quadrilatères qui seront analysés, avec comme point en commun la présence d'une cour d'école fortement minéralisée. Une grille multicritère reproductible est construite à partir des facteurs physiques causals des ICU et des surverses, détaillés dans les sections antérieures, et à partir de données géoréférencées disponibles en ligne. Les critères sont justifiés dans un tableau sommaire et regroupés selon qu'ils relèvent de la vulnérabilité territoriale ou sociale. Un autre tableau présente les résultats de l'analyse, produits à partir des calculs inclus en annexe. Le quadrilatère le plus vulnérable fait l'objet de quatre recommandations de réaménagement, principalement une reconfiguration routière et l'ajout d'INP, à l'attention de l'équipe administrative de l'arrondissement concerné. Le sixième et dernier chapitre se clôture sur six recommandations structurantes et fédératrices à l'échelle de la Ville de Montréal qui établiraient une feuille de route impliquant toutes les parties prenantes vers la résilience climatique.

Dans l'objectif de produire un essai de haute qualité, les informations proviennent d'auteurs réputés (chercheurs et experts académiques), d'organismes spécialisés (par exemple la Société québécoise de phytotechnologie) et d'autorités gouvernementales. Des banques de publications scientifiques, telles que *ScienceDirect*, et des sites internet municipaux et gouvernementaux (notamment les portails de données ouvertes) sont les principales plateformes qui ont permis d'effectuer la recherche. Mises à part quelques exceptions pour des ouvrages phares, seules les références les plus récentes publiées dans la dernière décennie ont été utilisées.

1. RÉSILIENCE CLIMATIQUE URBAINE

Cet essai s'inscrit dans le champ de l'écologie urbaine, une école de pensée en rupture avec la conception dichotomique des villes et de la nature. En effet, elle conçoit la ville comme un écosystème fonctionnel, livrant une multitude de services écologiques. Ce chapitre s'ouvre donc sur un historique et un tour d'horizon de la théorie de l'écologie urbaine, d'autant plus que ses chercheurs contemporains étudient la contribution de la biodiversité à la résilience des villes. Suivront ensuite une exploration de la résilience et des propriétés propres à un système résilient.

1.1 Théorie de l'écologie urbaine

La ville a longtemps été un angle mort des biologistes et écologistes. Bien que l'écologie urbaine soit une discipline datant des années 1920, elle était à l'origine centrée sur le rapport de l'être humain avec son « environnement urbain » et l'organisation sociospatiale des collectivités. Un certain dédain de la part des biologistes envers les villes a fait en sorte que ce champ de recherches demeure confiné aux sciences sociales pendant la majeure partie du siècle dernier. Au Québec, le biologiste Pierre Dansereau s'intéresse à l'écologie urbaine lors d'un séjour à New York dans les années 1960 et fonde le Centre de recherches écologique de Montréal en 1971. Les travaux du centre portent surtout sur l'impact de grands projets infrastructurels (hydroélectriques, aéroportuaires) sur les écosystèmes (Université du Québec à Montréal, s.d.). Dès lors, l'étude de la biodiversité intègre le champ de l'écologie urbaine. L'émergence du concept de développement durable tel que défini par le rapport Brundtland en 1987 et une amplification de la perte d'habitats naturels due à l'accélération de l'urbanisation donnent des munitions au nouveau champ interdisciplinaire (Wu, 2014).

Cette récente incarnation de l'écologie urbaine connaît un essor depuis la publication du rapport Millenium Ecosystem Assessment (2005) et son constat alarmant sur la dégradation des services écosystémiques à l'échelle mondiale. Elle reconnaît l'interdépendance entre l'*homo urbanus* et les milieux naturels qui le soutiennent. En outre, ce cadre théorique est en phase avec le développement durable, nouvel idéal qui convoite la pérennité des écosystèmes sans compromettre le développement urbain. (Wu, 2014) Les chercheurs de l'écologie urbaine refusent désormais de faire la distinction entre les zones urbaines et naturelles.

Comme le fait remarquer Pickett (2011), une approche systémique et interdisciplinaire est plus à même de faire la promotion d'une gestion durable des écosystèmes auprès des décideurs politiques et des urbanistes. Wu (2014) définit aujourd'hui l'écologie urbaine comme « l'étude de l'organisation spatiotemporelle des villes, de leurs impacts environnementaux et de l'urbanisation durable », avec pour *foci* la biodiversité urbaine, les processus écologiques et les services écosystémiques. Elle peut

également être décrite plus succinctement comme l'étude des interactions entre les structures urbaines et les processus écologiques (McPhearson et al., 2016).

1.2 Types de résilience et définitions

La communauté d'écologistes urbains positionne maintenant le capital naturel comme la solution aux enjeux de résilience et de développement durable des villes, et oriente ses recherches à cet effet. Pour reprendre les mots de York et Jacob (2020), « la nature est infrastructure ». Les solutions naturelles aux enjeux urbains suscitent d'ailleurs un intérêt grandissant, comme en fait foi un récent sommet sur les infrastructures naturelles à Ottawa, en février 2020 (Nature-based Climate Solutions Summit, s.d.).

La conception générale de la résilience renvoie à une résistance aux chocs (Larousse, s. d.). Les définitions scientifiques répertoriées par Meerow et al. (2016) suggèrent qu'un système résilient est de nature adaptable et flexible, et capable de se rétablir relativement rapidement. Selon le cadre théorique de l'écologie urbaine, la résilience urbaine renvoie non seulement à la capacité d'une ville à s'adapter, mais également à évoluer en dépit, ou grâce, à la présence d'agents stressants (Bush et Doyon, 2019; McPhearson et al., 2016). Elle est définie par des leaders de l'écologie urbaine comme la capacité d'un système à « absorber un stress, de continuer à se développer et à changer sans perte structurelle, fonctionnelle et identitaire » (McPhearson et al., 2016).

Dans la conjoncture actuelle, la résilience dite « climatique » gagne en importance (Meerow et al., 2016). Elle représente un nouveau paradigme de gestion et de prévention de phénomènes météorologiques extrêmes pour les décideurs municipaux (Cariolet et al., 2019). Pour les besoins de cet essai, la définition suivante proposée par Brown, Dayal et Rumbaitis Del Rio (2012) semble la plus complète :

« La capacité [d'un système] de répondre de façon dynamique et efficace à des conditions climatiques changeantes tout en continuant de fonctionner à un niveau acceptable. Elle inclut l'aptitude de résister aux impacts ainsi que de récupérer et réorganiser les fonctions nécessaires à la prévention de catastrophes. [...] La résilience est ainsi un spectre, allant de la prévention d'un effondrement [structurel] à un état où la transformation est possible. »

Il convient ici de situer le concept d'adaptation, un vocable qui revient souvent dans le discours dominant sur les changements climatiques. Les termes « adaptation » et « résilience » sont parfois utilisés comme s'ils étaient interchangeables, surtout par les politiques. Toutefois, selon des chercheurs qui se sont penchés sur leur sémantique respective, la résilience englobe l'adaptation et non le contraire. La capacité d'adaptation est une des caractéristiques d'un système résilient. En outre, ce dernier détient l'aptitude à apprendre au fil des chocs et à se transformer pour mieux anticiper les perturbations futures. La même chose ne peut être dite d'un système « adaptatif ». (Cariolet et al.,

2019; Field et Parrott, 2017) Certains chercheurs distinguent également la résilience inhérente (pré-choc) d'un système de sa résilience adaptative (post-choc) (Cariolet et al., 2019; Heinzlef et al., 2020). Un système peut donc être intrinsèquement résilient avant d'amorcer une phase d'adaptation. Cette analyse sémantique dévoile l'avantage des villes à adopter une stratégie de résilience, plus globalisante, qu'une démarche d'adaptation.

Les services écosystémiques offerts par la biodiversité urbaine contribuent à rehausser la résilience des villes face aux phénomènes météorologiques extrêmes (Bush et Doyon, 2019). Le Millenium Ecosystem Assessment (2005) a répertorié quatre catégories de services écosystémiques : les services d'approvisionnement (nourriture, eau, etc.), de régulation (du climat, de l'eau, des cycles pluviaux, etc.), les services culturels (loisirs, bienfaits psychologiques, etc.) et d'auto-entretien (formation des sols, photosynthèse, etc.). La figure suivante présente une synthèse des services écosystémiques et leurs impacts sur le bien-être humain.

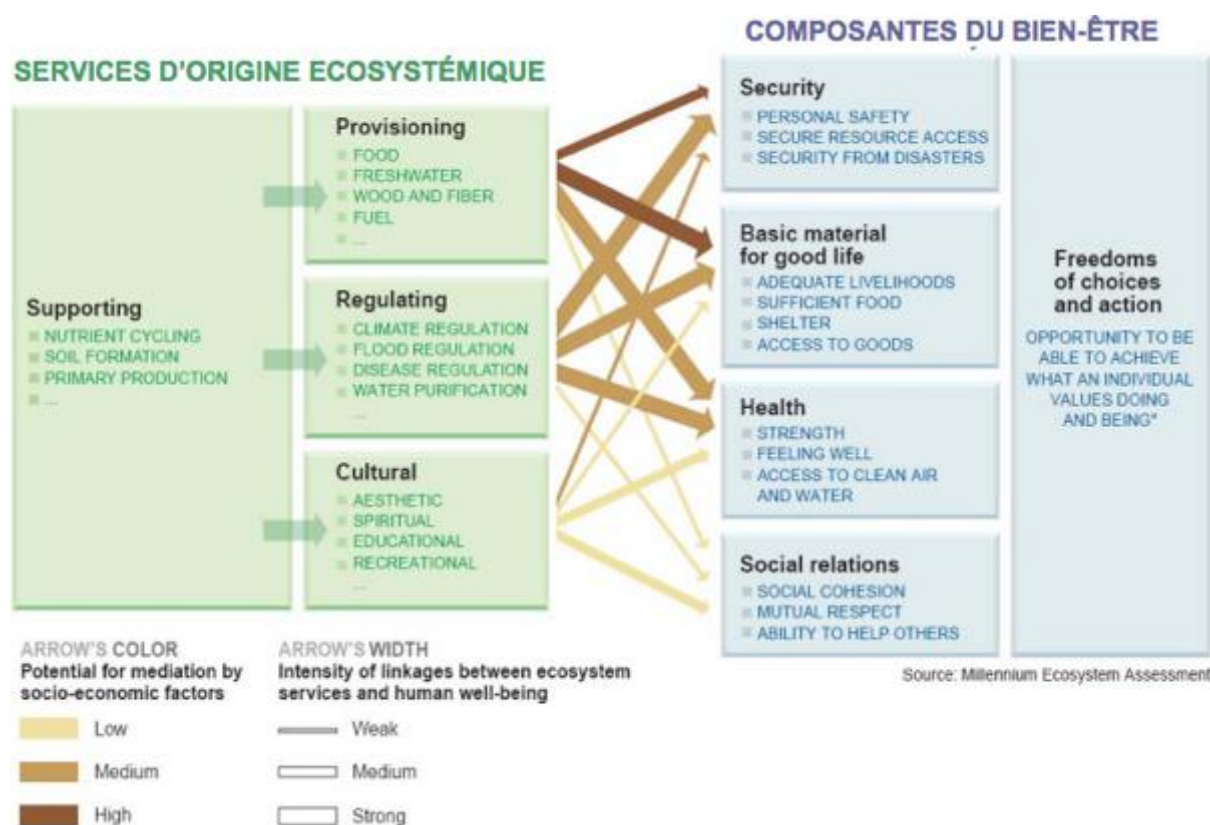


Figure 1.1 Présentation des principaux services écosystémiques et de leurs impacts sur le bien-être humain (Tiré de : Millenium Ecosystem Assessment, 2005)

Dans une perspective écologique, un écosystème naturel correspond en tous points à la définition d'un système résilient. Plusieurs propriétés lui permettent en effet de rebondir et d'évoluer en dépit de chocs, notamment la connectivité entre ses composants (par exemple des corridors migratoires

pour les espèces), la diversité d'espèces offrant des services écosystémiques similaires (redondance fonctionnelle) et la complexité de sa structure (par exemple l'hétérogénéité du paysage) (Field et al., 2017). Certains écosystèmes profitent même de « désastres » périodiques pour pouvoir se régénérer; c'est le cas des forêts nord-américaines dont les incendies permettent une fertilisation du substrat par les cendres et ouvrent le passage aux rayons de soleil pour les pousses des espèces héliophiles (Alcañiz et al., 2018). Sous cet éclairage, l'importance de préserver et d'intégrer la biodiversité aux systèmes urbains et leurs infrastructures largement monofonctionnelles prend tout son sens.

2. ENJEUX CLIMATIQUES

Les villes sont en première ligne des impacts des changements climatiques. Que ce soit pour les aides financières aux sinistrés d'inondations ou les pertes humaines en période de chaleur accablante, elles sont les premières répondantes en raison de leur proximité à la population. Selon Leal Filho et al. (2018), les structures et processus « physiques, économiques, sociaux, environnementaux et institutionnels » d'une ville vont déterminer sa vulnérabilité climatique.

Cette section présente deux phénomènes climatiques importants dans la région de Montréal : les ilots de chaleur urbains (ICU) et les débordements d'égouts dans les cours d'eau récepteurs, aussi appelés « surverses ». Les aléas climatiques et les facteurs anthropiques en cause seront ensuite détaillés, tout comme les impacts sur les sphères sociale, environnementale et économique.

2.1 Ilots de chaleur urbains

Les ICU surviennent lorsque la température ambiante d'une zone urbaine est plus chaude que celle des espaces verts et ruraux à proximité, jusqu'à une température supérieure de douze degrés Celsius selon les études (Institut national de santé publique du Québec [INSPQ], 2009; Environnement Canada, 2020). Induits par les matériaux de structures urbaines qui emmagasinent la chaleur le jour et la libèrent la nuit, ils entraînent un microclimat urbain caractérisé par des masses d'air chaud stagnantes. L'intensité d'un ICU est établie en fonction de la différence de température entre un site minéralisé et un milieu naturel environnant (INSPQ, 2009). Par exemple, un écart de près de douze degrés Celsius entre le parc du Mont-Royal, où le mercure indiquait 21,8 °C, et l'angle du boulevard Saint-Laurent et de l'avenue Mont-Royal, où la température était de 33,5 °C, a été enregistré en juin 2005 (Anquez et Herlem, 2011). Une analyse cartographique effectuée en 2011 par l'Université du Québec à Montréal a établi que les ICU occupent 28 % de l'agglomération (figure 2.1). Cette proportion a probablement augmenté compte tenu des vagues de chaleur intense qui ont frappé la métropole depuis une décennie, comme il sera expliqué à la sous-section 2.1.1.

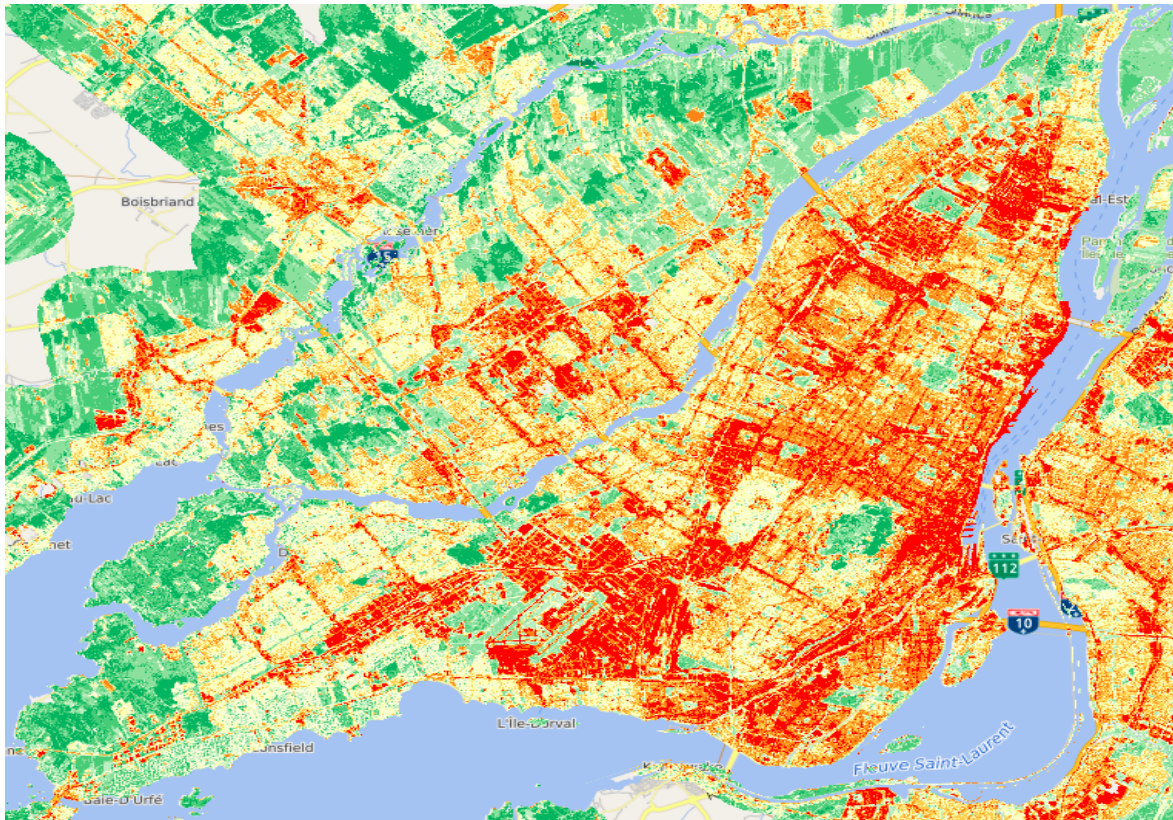


Figure 2.1 Carte des ilots de chaleur dans le Grand Montréal (Tiré de : INSPQ et Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy [CERFO], 2012)

La littérature scientifique distingue trois types d'ICU en fonction de l'emplacement de la chaleur, qu'elle soit au niveau du sol, à la hauteur de la canopée et des bâtiments, ou encore au-dessus des toits :

- Les ilots de chaleur à la surface du sol réfèrent aux rayons émis et réfléchis au niveau du sol (INSPQ, s.d.);
- Les ilots de chaleur de la canopée urbaine renvoient à la zone entre le sol et la cime des arbres ou les toits des bâtiments, soit la zone d'activités anthropiques. Plus intense la nuit que le jour, ce type d'ilot peut devenir un « canyon » d'air chaud dans une rue bordée par des bâtiments élevés (Environnement Canada, 2010; INSPQ, s.d.) ;
- Les ilots de chaleur de la couche limite urbaine sont observés au-dessus des toits d'une ville (INSPQ s.d.).

Les températures nocturnes permettent de bien délimiter les ICU grâce à l'émanation de chaleur qui persiste longtemps après le coucher du soleil. Comme pour le jour, des températures de 7 à 12 degrés Celsius supérieures à celles des ilots de fraîcheur environnants sont enregistrées (Ville de Montréal, 2017a).

2.1.1 Causes des ICU

L'occurrence d'ICU dans les villes est attribuable d'abord à une combinaison de conditions météorologiques. Des vents faibles, une température élevée et un fort taux d'humidité favorisent leur formation (INSPQ, s.d.). Avec le réchauffement du Québec en cours, la formation d'ICU sera plus récurrente dans les milieux urbains de la province. Les moyennes de températures estivales ont augmenté depuis 1951 dans le sud du Québec, tout comme la durée des canicules (périodes de trois jours consécutifs de 30 °C ou plus) (Ouranos, 2015). L'intensification des vagues de chaleur est encore plus marquée avec le facteur humidex, un indice développé par Environnement Canada qui prend en compte l'humidité relative quotidienne. La figure 2.2 démontre que la fréquence des nuits de 30 °C et plus incluant le facteur humidex a connu une hausse de 58 % de 1953 à 2012 (Ville de Montréal, 2017a). Puisque les nuits chaudes et humides sont indicatrices de la présence d'ICU, comme expliqué dans la section précédente, il est fort probable que la prolifération d'ICU ait contribué à cette augmentation.

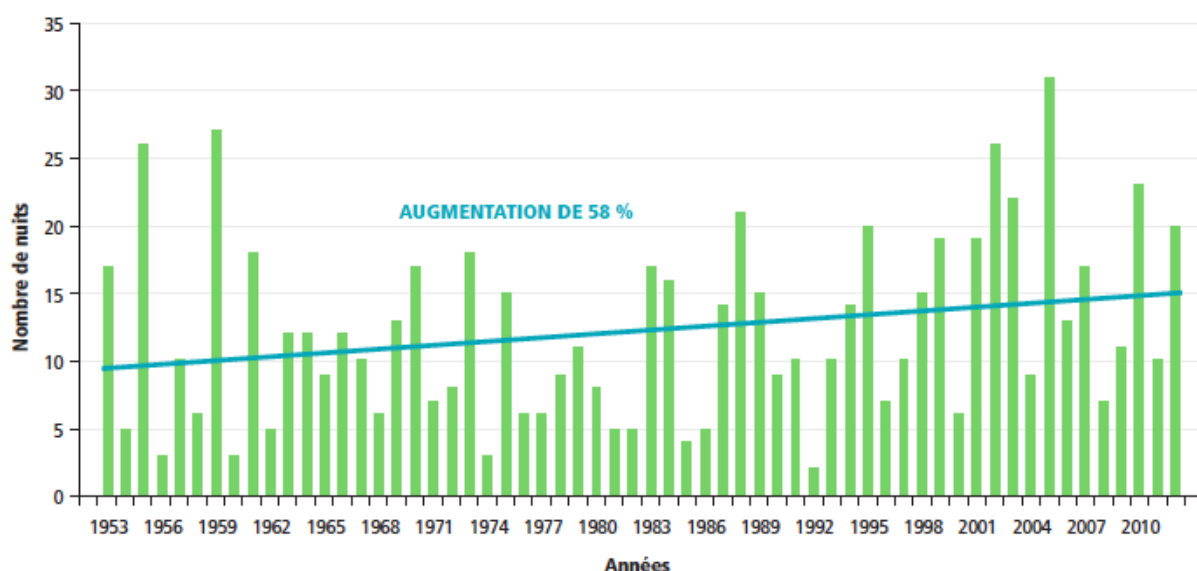


Figure 2.2 Graphique présentant l'évolution du nombre de nuits avec humidex égal ou supérieur à 30 °C à Montréal (Tiré de : Ville de Montréal, 2017a)

En outre, une intensification des vagues de chaleur est observée depuis 2010. Le sud du Québec a connu son été le plus chaud de l'histoire en 2018, lors duquel une canicule de six jours a provoqué la mort de 86 personnes. (Ministère de l'Environnement et du Changement climatique du Canada, 2019) Cette tendance sera significative dans les prochaines décennies puisque les projections climatiques annoncent une hausse des températures extrêmes maximales (Ville de Montréal, 2017a). Il est important de relever que les ICU contribuent au réchauffement planétaire, au même titre que les émissions de GES selon certains chercheurs (Stone, 2012). Certaines modélisations prédisent que les

ICU feront grimper jusqu'à trois degrés Celsius la chaleur urbaine d'ici 2100, faisant des municipalités des acteurs clés dans la lutte aux changements climatiques (Estrada et al., 2017).

Hormis les aléas climatiques, les activités humaines sont majoritairement responsables de la formation des ICU. D'abord par la destruction de milieux naturels pour faire place aux infrastructures grises (issues de la technologie humaine) qui ont modifié le comportement thermique des agglomérations urbaines. La faible proportion du couvert forestier en ville fait en sorte que le processus naturel d'évapotranspiration des végétaux ne suffit pas pour réguler le climat urbain. L'évapotranspiration désigne l'ensemble des processus de rejets de vapeur d'eau dans l'atmosphère par les végétaux, autant par leur transpiration que l'évaporation des gouttelettes de pluie sur leurs tiges et feuilles. La disparition des milieux humides en ville, qui contribuent aux cycles hydrologiques et au rafraîchissement du microclimat, est également en cause. Jusqu'à 40 % des eaux pluviales dans une forêt sont retournées vers l'atmosphère, ce qui explique son puissant rôle de refroidissement et de régulation du climat (Société québécoise de phytotechnologie [SQP], 2018). Il convient de souligner également l'ombrage important que procurent les arbres contrairement à la végétation basse, comme le gazon, qui domine la flore urbaine mais s'avère peu performante pour atténuer les ICU (Dupras, Francoeur, Dagenais et Messier, 2018). Dépourvues de ces agents naturels de régulation climatique, les municipalités sont sujettes à la formation d'ICU.

D'autant plus que la majorité des matériaux des façades de bâtiments, des revêtements de rue et des infrastructures présente un faible albédo, c'est-à-dire une faible capacité à réfléchir les rayons solaires (Environnement Canada, 2010). Ces matériaux, tels que l'asphalte et le béton, sont de nature émissive (ou conductrice) : ils emmagasinent la chaleur des rayons de soleil le jour et la relâchent la nuit sous forme de rayons infrarouges, contribuant ainsi à la persistance des ICU (Anquez et Herlem, 2011).

La morphologie structurelle d'une ville influencera grandement l'intensité des îlots de chaleur à l'échelle de la canopée urbaine. Selon certaines recherches, elle serait même plus déterminante que le type de couvert du sol (végétal vs minéral) et la hauteur de la végétation (Shaker et al., 2019). La littérature scientifique a identifié plusieurs propriétés structurelles qui haussent la température des canyons d'air chaud urbains. Une des plus reconnues est le facteur de vue du ciel (*sky view factor*), qui correspond à la proportion du ciel visible au niveau du sol par rapport aux immeubles et autres structures environnantes. Ainsi, plus des édifices seront élevés moins le vent pourra circuler librement, et plus la chaleur sera piégée au niveau des bâtiments. Bien que des édifices bas exposent davantage l'espace aux radiations solaires le jour, la chaleur peut plus facilement s'échapper la nuit (Wei et al., 2016). D'autres indicateurs qui prédisent la formation d'ICU sont : la densité et connectivité des édifices, la largeur des rues et leur organisation. Sur ce dernier point, Shaker et al. (2019) ont

découvert que plus la configuration des rues d'un quartier sera simple, tel un quadrillé, plus la chaleur pourra se dissiper en soirée. La figure 2.3 représente les variations de température selon le degré d'urbanisation des zones. Il est à noter que la température de l'air diurne est pratiquement identique à celle de l'air nocturne en zone fortement urbanisée, une caractéristique propre aux ICU.

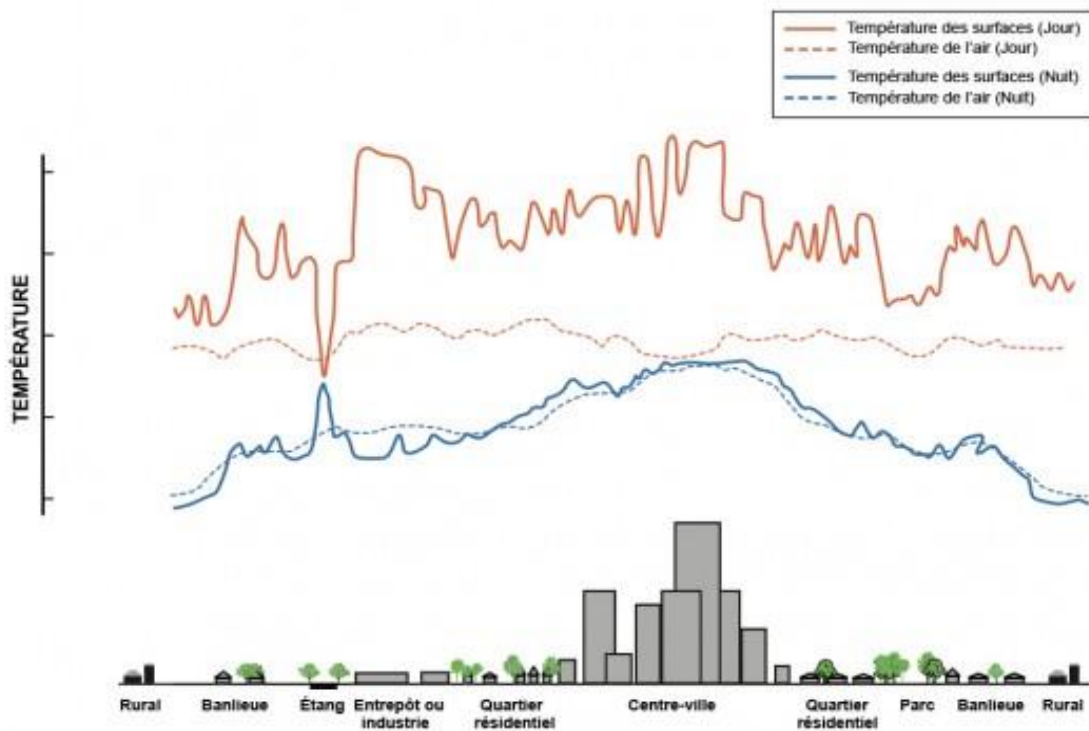


Figure 2.3 Variations des températures de surface et de l'air selon la morphologie urbaine (Tiré de : Vivre en ville, s.d.)

Enfin, les activités humaines émettrices de GES et de chaleur contribuent également à la formation d'ICU. Non seulement les voies routières sont faites de matériaux fortement émissifs, elles sont sillonnées par des véhicules à moteur qui émettent de la vapeur et un cocktail de GES (Kolbe, 2019). Ces émissions renforcent l'enclavement de la chaleur et les impacts nuisibles sur la santé humaine qui seront détaillés dans la sous-section suivante. À titre d'exemple, Li et al. (2015) ont estimé que le remplacement des véhicules à essence par des véhicules électriques à Pékin aurait réduit la température des ICU de près d'un degré Celsius à l'été 2012. Ces chercheurs ont évalué que chaque véhicule à essence avait libéré 6,31 millions de joules par mille (1,61 km), soit cinq fois plus que les véhicules électriques (C. Li et al., 2015). À titre d'exemple, un million de joules correspondent à un quart d'heure de chauffage d'un radiateur électrique de 1000 watts (Furfari, 2012). Les véhicules à essence ont donc une incidence sur la formation d'ICU, compte tenu de la chaleur qu'ils émettent et

du verrouillage technique qu'ils imposent avec des infrastructures routières émissives. Une politique de mitigation des ICU devrait donc comprendre un volet ciblant la réduction de la circulation automobile. À titre d'exemple, la carte de Montréal ci-dessous (figure 2.4) répertorie les îlots de chaleur (en rouge) et les principales artères routières (en vert et rouge). Elle démontre que l'absence d'îlots de chaleur coïncide généralement avec l'absence d'axes routiers. Outre les véhicules à essence, d'autres sources de chaleur anthropiques, telles que les climatiseurs et les foyers à bois, exacerbent les ICU.

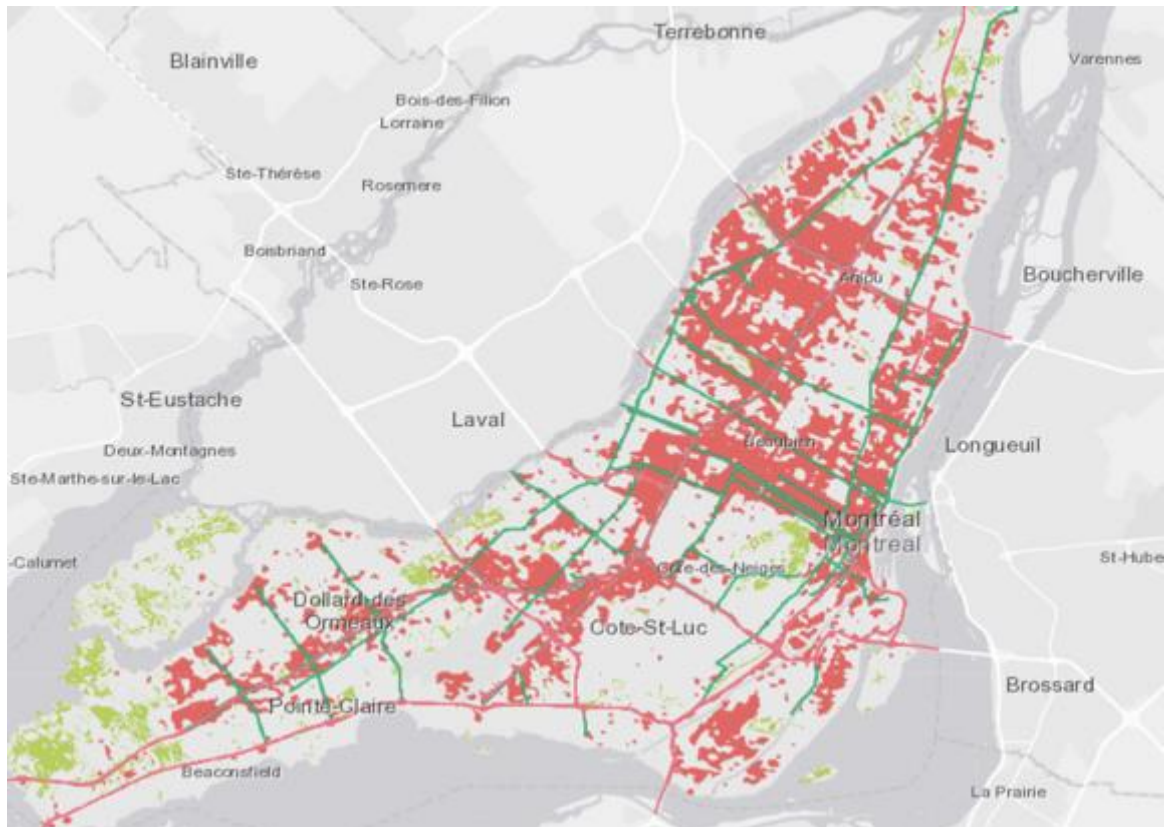


Figure 2.4 Carte de Montréal identifiant l'emplacement d'îlots de chaleur et du réseau routier
(Tiré de : Ville de Montréal, 2015)

2.1.2 Impacts des ICU

Si la hausse projetée des épisodes de chaleur extrême se confirme, la vulnérabilité aux ICU des villes et leurs populations s'aggraveront. Dans une perspective de développement durable, les dimensions environnementale, sociale et économique des impacts des ICU seront explorées dans cet ordre dans cette section.

Bien qu'ils aident à combattre la formation d'ICU, les végétaux peuvent subir des impacts négatifs en zones de chaleur extrême. Une température plus élevée doublée d'une période de sécheresse peuvent provoquer un stress hydrique aux arbres et une prolifération d'insectes ravageurs. Ainsi, des

chercheurs ont observé une plus grande incidence de maladies et une plus grande abondance d'insectes sur des érables rouges situés dans des ICU en Caroline du Nord (Dale et Frank, 2014). Certaines espèces d'insectes, tant nuisibles que bénéfiques, sont également vulnérables aux chocs thermiques. L'exposition à une température de 36 °C pendant une heure est suffisante pour causer la mortalité de certains insectes (Ville de Montréal, 2017a). Les insectes pollinisateurs s'avèrent particulièrement vulnérables aux chocs climatiques (Pincebourde et al., 2017).

En outre, la qualité de l'air s'appauvrit dans les ICU. Le microclimat des ICU, notamment l'enclavement du vent et les inversions thermiques (masse d'air chaud au-dessus d'une masse d'air froid) en zones urbaines, maintient en place des polluants tels que les oxydes d'azote (NO_x), le dioxyde de carbone (CO₂), le monoxyde de carbone (CO), les particules fines (PM_{2.5}, PM₁₀) et le dioxyde de soufre (SO₂). Ce cocktail de polluants en temps de canicule favorise l'apparition de smog, notamment due à l'accumulation de dioxyde d'azote (NO₂) dans les canyons urbains. (Environnement Canada, s.d.) Des chercheurs taïwanais ont découvert que la concentration d'ozone dans la canopée urbaine explosait au deuxième jour d'une canicule à cause de la surabondance de NO₂ le soir précédent (Lai et Cheng, 2009).

La vulnérabilité sociale aux ICU est sans doute la plus critique. La pauvreté de la qualité de l'air combinée à la chaleur suffocante des ICU représentent un danger pour la santé humaine, particulièrement chez les populations vulnérables telles que les personnes âgées, les enfants et les personnes atteintes d'une maladie chronique (Environnement Canada, 2010). Ils peuvent engendrer un malaise général, des troubles respiratoires, des nausées, des crampes de chaleur, et aggraver les symptômes d'affections préexistantes (INSPQ, s.d.; Environnement Canada, 2010). Par conséquent, l'incidence de mortalité est plus élevée dans les ICU lors de vagues de chaleur (Smargiassi et al., 2009). Les groupes défavorisés peuvent être plus durement frappés puisqu'ils ont tendance à habiter des endroits non climatisés et fortement minéralisés (Apparicio et al., 2016). L'utilisation de la climatisation par les plus nantis s'avère donc un couteau à double tranchant : la chaleur expulsée des immeubles exacerbe le stress thermique des passants et des résidents d'habitations non climatisées. Il est à noter que les vagues de chaleur ont provoqué 8 000 décès prématurés aux États-Unis de 1979 à 2003, un nombre supérieur à ceux causés par les ouragans, les tornades, les inondations, la foudre et les séismes réunis ensemble (Environnement Canada, 2010). En Europe, 25 000 à 35 000 personnes ont péri des suites de la canicule de l'été 2003. Des chercheurs allemands ont évalué à l'aide de modélisations que le nombre de décès causés par les canicules triplera d'ici la fin du siècle. (Hübler, Klepper et Peterson, 2008).

Les coûts sociaux entraînent bien sûr des coûts économiques. La pression qu'exercent les vagues de chaleur sur les services de santé est indicative de l'impact financier des ICU. La canicule de cinq jours qui a plombé sur le Québec à l'été 2010 a entraîné 3 400 hospitalisations additionnelles et une augmentation de 4 % d'admissions aux urgences (Bustinza, Lebel et Dubé, 2019). Hübler, Klepper et Peterson (2008) ont calculé que, en tenant compte du vieillissement de la population et de l'augmentation des jours de canicule (deux à cinq fois plus fréquentes selon eux), les frais d'hospitalisations seront six fois plus importants d'ici 2100 en Allemagne. Les vagues de chaleur se traduiront également en une baisse de 2,3 % à 5,6 % du PIB (produit intérieur brut) d'ici 2100 pour la ville médiane d'un échantillon de 1 692 villes analysées par une équipe de chercheurs de l'Institut d'études environnementales des Pays-Bas (Agence France-Presse, 2017, 30 mai). À titre d'exemple, la longue canicule meurtrière qui a frappé l'Europe en 2003 a amputé l'économie européenne de 14,5 milliards de dollars canadiens (10 milliards d'euros) selon le groupe d'assurance allemand Allianz Group (Hübler, Klepper et Peterson, 2008).

À la lumière de ce qui précède, les ICU devraient être un enjeu prioritaire dans les efforts de résilience des villes.

2.2 Les surverses

Le réchauffement de l'atmosphère signifie que davantage d'humidité évaporée aux latitudes tropicales de la planète se déplace vers les régions subpolaires, telles que le Québec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2013). Par conséquent, les épisodes de précipitations abondantes sont à la hausse dans le sud du Québec depuis 1950, notamment à l'automne (Ouranos, 2015). Cette nouvelle donne climatique entraînera davantage de surverses, c'est-à-dire de débordements d'égouts dans les cours d'eau, surtout dans les villes dotées d'un système d'égout unitaire (aussi appelé « combiné » puisqu'il collecte tant les eaux pluviales que sanitaires). Les impacts des intensifications des précipitations s'annoncent particulièrement critiques dans les villes; des chercheurs ont démontré à l'aide de simulations que les volumes de surverses et d'inondations augmentent davantage que les volumes de précipitations, ce qui dénote une saturation rapide des réseaux d'égouts existants (Alain Mailhot, Bolduc, Talbot et Khedhaouira, 2014).

À Montréal, les deux tiers du réseau sont de type unitaire (figure 2.5), c'est-à-dire que les eaux usées domestiques, commerciales et industrielles circulent dans les mêmes conduites que les eaux pluviales (Ville de Montréal, s.d.a). Le dernier tiers, de type séparatif, achemine les eaux pluviales séparément vers les cours d'eau dans l'ouest de Montréal. Lors d'épisodes de fortes précipitations ou d'importantes fontes de neige, le volume et le débit des eaux dans le réseau d'égout unitaire deviennent trop importants pour la capacité d'interception et de traitement de la station d'épuration

Jean-R. Marcotte, qui gère l'ensemble des eaux d'égout de l'île. Lorsqu'il y a saturation, des ouvrages de surverse dispersés sur le territoire déversent une partie des eaux directement dans la rivière des Prairies ou le fleuve Saint-Laurent, sans traitement préalable. (Ville de Montréal, s.d.b) Au Québec, seuls les épisodes d'une durée de 12 minutes ou plus sont comptabilisés (Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2020). La Ville de Montréal a enregistré 1 877 épisodes de surverses en 2019 contre 1 442 en 2013 (É. Papillon, échange de courriels, 15 juillet 2020; Ministère des Affaires municipales et Occupation du territoire, 2014). Cela représente une augmentation de 30 % sur une période de six ans (le ministère n'a pas publié de bilans pour les années 2014 à 2018). La nature et les volumes des surverses ne sont pas dévoilés par la Ville, bien qu'elle soutienne que l'usine traite 99,3 % des eaux usées du centre et de l'est de Montréal (Ville de Montréal, s.d.e). Selon ce scénario, 530 millions de litres d'eaux usées s'écouleraient dans les cours d'eau récepteurs (Radio-Canada, 2014, 25 août).



Figure 2.5 Carte des réseaux d'égouts séparatif et unitaire sur l'île de Montréal (Tiré de : Ville de Montréal, s.d.c)

2.2.1 Causes des surverses

En plus des limites du réseau unitaire montréalais, les phénomènes de surverses s’expliquent par l’imperméabilisation des sols et l’intensité des précipitations (Salerno et al., 2018). La minéralisation d’un terrain autrefois naturel augmenterait de trois à cinq fois les volumes d’eaux de ruissellement dirigés vers les cours d’eau. Leur débit d’évacuation est également affecté. (SQP, 2018) Comme expliqué dans la section sur les ICU, le revêtement des sols et la diminution du couvert boisé perturbent les cycles hydrauliques dans les villes. En guise d’illustration, seulement 10 % des eaux pluviales est ruisselé en milieu boisé, alors que cette proportion augmente à 75 % sur un site fortement urbanisé (SQP, 2018). La principale cause d’intensification des surverses dans la pointe ouest de l’île serait une augmentation de 15 % de la population, et donc de l’urbanisation, de 2001 à 2011 (Jalliffier-Verne et al., 2015).

La hausse des occurrences de précipitations abondantes à Montréal est également en cause (figure 2.6). L’intensité des fortes pluies a augmenté de 10 % de 1942 à 2014 (Ville de Montréal, 2017a). En parallèle, la moitié des infrastructures naturelles (85 % dans le cas des milieux humides) ont été détruites sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Montréal de 1965 à 2010 (Radio-Canada, 2015, 12 mai; Maure, et al., 2018). Par conséquent, le consortium sur la climatologie Ouranos prévoit une augmentation des épisodes de surverses, surtout lors des mois de mai, septembre et octobre dans le sud du Québec (Ouranos, 2015).

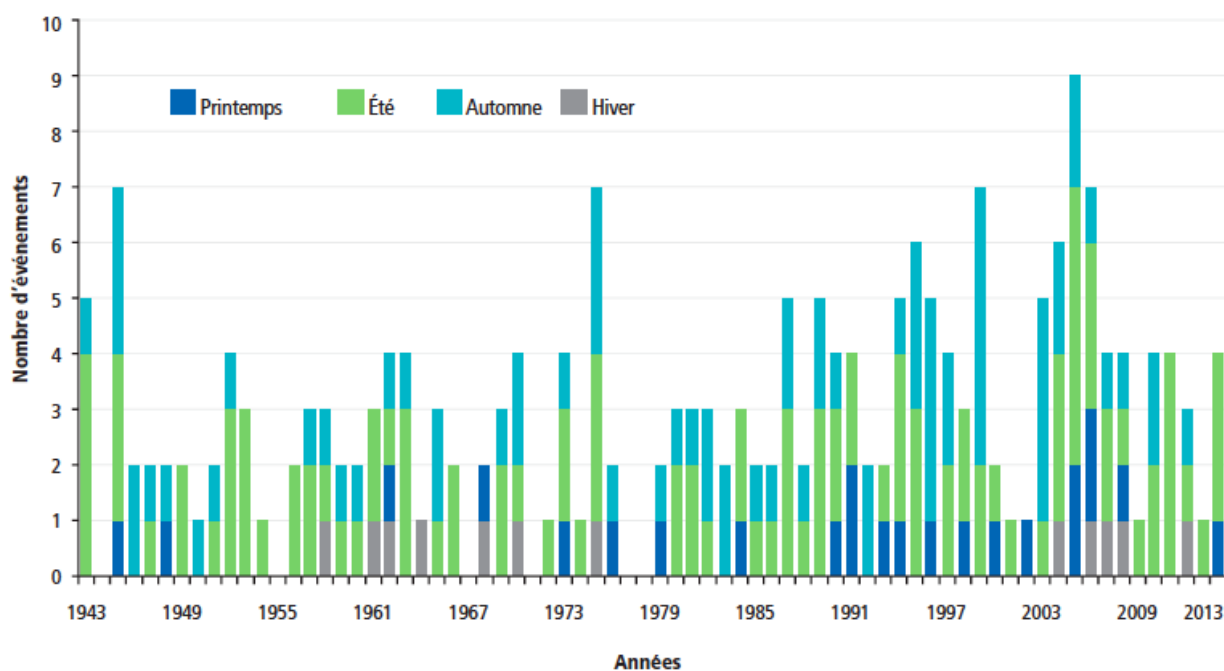


Figure 2.6 Nombre de jours de pluies de 30 mm et plus à Montréal (Tiré de : Ville de Montréal, 2017a)

2.2.2 Impacts des surverses

La contamination des cours d'eau par les rejets d'égouts non traités représente l'impact environnemental le plus nuisible. Une analyse de sédiments en aval d'une dizaine des 162 ouvrages de surverses sur l'île de Montréal a levé le voile sur la présence de contaminants chimiques persistants. Effectuée à l'automne 2018, elle a révélé des traces de plomb, d'arsenic, de mercure, d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et de biphényles polychlorés, communément appelés BPC, dans les cours d'eau de l'agglomération (Léveillé, 2019, 26 juin). La concentration de contaminants émergents, notamment les produits pharmaceutiques et les retardateurs de flamme comme les polybromodiphényléthers (PBDE), est également à la hausse dans le fleuve Saint-Laurent. Détectés pour la première fois dans le fleuve en 2003, les PBDE s'accumulent dans la graisse animale et perturbent la fonction thyroïdale des vertébrés (Echols et al., 2009). L'effet perturbateur des médicaments sur le système endocrinien de la faune aquatique est pour sa part bien documenté (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2015). Une récente étude de chercheurs de l'université McGill a également révélé une forte pollution en microplastiques du fleuve Saint-Laurent, soit 832 morceaux par kilogramme de sédiments en moyenne. Ces résultats situent le fleuve parmi les 25 % de cours d'eau les plus pollués en plastique au monde. (Crew et al., 2020)

En matière d'impact social, les rejets importants de coliformes fécaux représentent un risque pour le bien-être humain. Leur concentration en aval de l'île de Montréal a augmenté de façon constante de 2002 à 2012, surtout près des rives (Jalliffier-Verne et al., 2015; Madoux-Humery et al., 2016). Au moins 80 % de la concentration de coliformes fécaux est attribuable à des surverses provoquées par des précipitations de plus de 10 mm ou une fonte de neige (Madoux-Humery et al., 2016). Par exemple, une détérioration significative de la qualité d'eau pour la saison estivale 2018 faisait suite à un été marqué par de courts épisodes de fortes pluies. Les activités aquatiques des Montréalais sont particulièrement affectées par la pollution issue des surverses. En 2018, seulement la moitié des 104 stations de mesure étaient situées dans des eaux où la concentration de coliformes fécaux permettait la baignade (figure 2.7), soit moins de 200 unités formant colonies (UFC) par 100 ml (Ville de Montréal, 2018a).

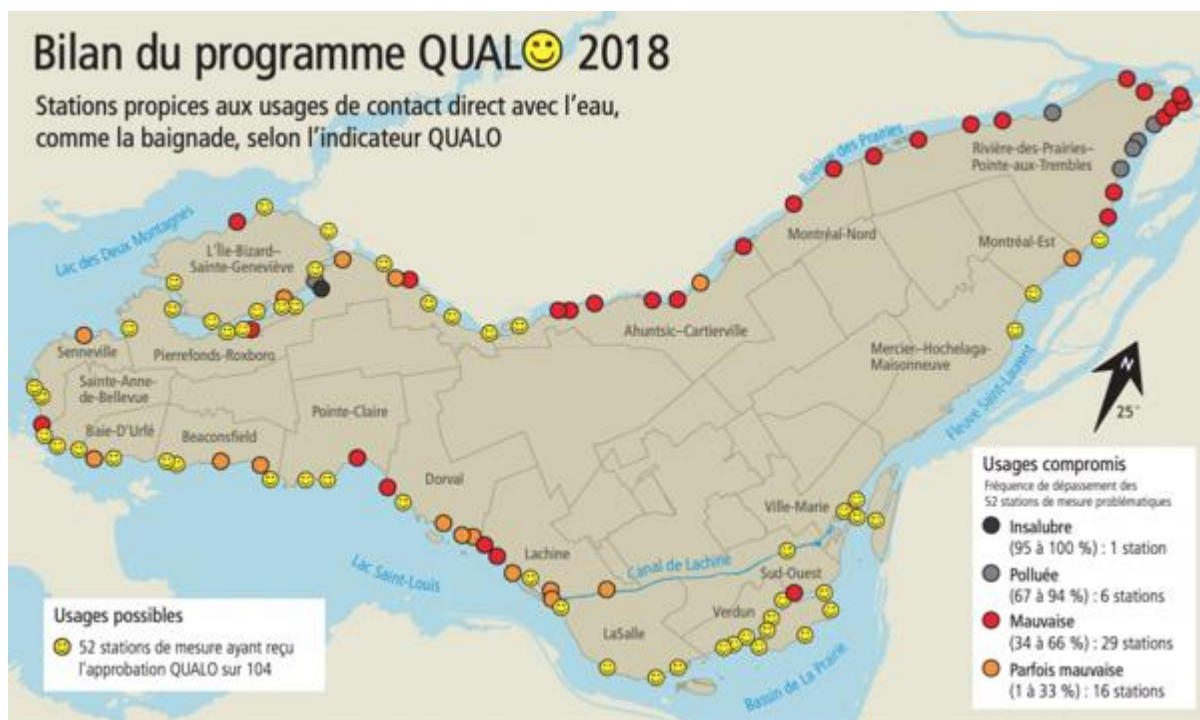


Figure 2.7 Bilan de la qualité de l'eau sur les rives de Montréal en 2018 (Tiré de : Ville de Montréal, 2018a)

Enfin, en termes de coûts économiques, les solutions d'ingénierie conventionnelles, aussi appelées infrastructures grises, s'avèrent onéreuses. Elles coûtent jusqu'à 1 000 dollars pour chaque mètre cube d'eau retenue par des infrastructures de béton telles que des conduites souterraines (SQP, 2018). En 2019, le gouvernement fédéral a offert une aide de 54 millions de dollars à la Ville pour la construction de quatre bassins additionnels de rétention dans le réseau unitaire. Les bassins de stockage permettent de soulager temporairement le réseau lors de précipitations abondantes. Cependant, ces bassins onéreux ne servent qu'une fonction : la rétention temporaire de l'eau. Trois des quatre bassins seront creusés dans le secteur de l'échangeur Turcot, où des inondations localisées surviennent en temps de précipitations fortes. Le quatrième sera construit dans Griffintown juste au sud du centre-ville. Le réseau compterait déjà une vingtaine de bassins. (Le Métro, 10 juin 2019)

Il faut également tenir compte des pertes de revenus récréotouristiques dues à la pollution des surverses. L'exemple de Copenhague à ce sujet est éloquent. Des investissements de plus d'un demi-milliard de dollars dans les années 1990 pour éradiquer les surverses du réseau unitaire de la capitale danoise ont été profitables à long terme (City Lab, 23 décembre 2015). L'eau propre à la baignade de Copenhague attire des millions de touristes, dont le nombre a augmenté de 74 % de 2008 à 2018. En 2017, la capitale danoise a accueilli le championnat mondial de planche à pagaie (*Stand up paddle board*) et ses participants provenant de 42 pays (International Surfing Association, 2017). Les berges de la ville sont devenues des vecteurs de régénération urbaine, attirant des institutions culturelles et

internationales telles que l'ONU qui y a ouvert son siège en 2013 (The Rethink Water network, 2013). Les commerces sont florissants et les propriétés riveraines valent 70 % de plus que le prix du marché (The Rethink Water network, 2013). Grâce à sa stratégie de décontamination des eaux portuaires, la Ville a non seulement amélioré la qualité de l'environnement aquatique; elle a réinventé le rapport des citoyens avec l'eau de la mer Baltique (figure 2.8).



Figure 2.8 Les citoyens de Copenhague peuvent à nouveau se baigner dans les eaux portuaires suite à des rénovations majeures du réseau d'égout unitaire (Tiré de : EUobserver, 10 octobre 2016)

3. SOLUTIONS D'INFRASTRUCTURES NATURELLES ET DE PHYTOTECHNOLOGIES

Les infrastructures naturelles et les phytotechnologies (INP) sont de plus en plus reconnues pour leur capacité à rehausser la résilience du tissu urbain face aux extrêmes météorologiques. D'ailleurs, un financement accru des infrastructures végétalisées, à hauteur de 10 % à 15 % des projets urbains, est demandé par une quarantaine d'acteurs de la société civile québécoise et plusieurs centaines de médecins (Hénault-Ethier et al., 2019). Les infrastructures naturelles désignent les milieux naturels dits « spontanés » tels que les boisés et les milieux humides ou dotés d'un aménagement paysager simple tels que les parcs (SQP, s.d.). Quant aux phytotechnologies, elles représentent toutes les solutions technologiques végétalisées conçues pour optimiser la livraison des services écosystémiques et pour répondre à des problématiques environnementales (Marquis et Hénault-Ethier, 2018).

L'aménagement d'INP permet d'intégrer des solutions naturelles et peu coûteuses aux enjeux climatiques des villes. Sur ce dernier point, une vaste étude de l'agence américaine de protection de l'environnement (*Environmental Protection Agency* [EPA]) avait estimé des économies allant de 15 % à 80 % pour l'implantation d'INP au lieu d'infrastructures grises pour une douzaine de projets de gestion d'eaux pluviales aux États-Unis (EPA, 2009). Cette section présente trois INP permettant d'agir autant sur les problèmes d'ICU que sur les surverses : les aires de biorétention, les toits végétalisés et les arbres.

3.1 Phytotechnologies

Les dimensions, les composants et l'aménagement des phytotechnologies varient en fonction du lieu d'implantation (superficie, climat, etc.) et des objectifs prioritaires de résilience. Deux phytotechnologies reconnues pour leur efficacité et leur adaptabilité en milieu urbain ont été retenues pour cet essai, soit les aires de biorétention et les toitures végétalisées (Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs [MDDEFP] et Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire [MAMROT], 2011).

3.1.1 Aires de biorétention (jardins de pluie)

Développées au début des années 1990, les aires de biorétention sont des ouvrages principalement conçus pour lutter contre les problèmes de surverses et d'inondations localisées en zone urbaine. Contrairement aux bassins de rétention conventionnels « gris », les aires de biorétention sont plurifonctionnelles. Elles remplissent des fonctions de rétention, de traitement et d'évacuation d'eaux pluviales grâce aux « propriétés chimiques, physiques et biologiques des plantes et des sols » (MDDEFP et MAMROT, 2011). Dépendamment de leur configuration, elles peuvent livrer trois services écosystémiques importants : réduire les volumes d'eaux rejetées dans les égouts, ralentir les débits

de pointe, c'est-à-dire les débits maximaux dans le réseau, et dépolluer les eaux contaminées. Les aires de biorétention offrent d'autres services écosystémiques secondaires, comme un refuge pour la biodiversité, la régulation du climat ambiant et la séquestration du carbone. Il existe plusieurs types d'aménagement de biorétentions adaptés en fonction du contexte climatique et des objectifs de conception. Cependant, elles partagent toutes quelques caractéristiques fondamentales.

Leur aménagement comprend généralement :

- Une dépression du terrain avec une pente de moins de 5 % pour accueillir les eaux de ruissellement issues des précipitations et des fontes de neige;
- L'excavation d'une partie du sol en surface pour le remplacer par un substrat favorisant la rétention, le traitement et l'infiltration lente des eaux en moins de 72 heures;
- Un couvert végétal qui intercepte les eaux et ralentit leur évacuation ainsi qu'un système racinaire abritant des microorganismes qui contribuent à la décontamination des polluants;
- Une superficie représentant 5 % à 10 % de celle du site à drainer;
- Une faible profondeur de l'ouvrage avec une zone de rétention de 250 mm de hauteur maximum en surface;
- Un système de trop-plein connecté au réseau d'égout pour les événements pluvieux exceptionnels. (SQP, 2018; MDDEFP et MAMROT, 2011; Toronto and Region and Credit Valley Conservation Authorities, 2011)

Les aires de biorétention sont idéales pour collecter les eaux de petits orages sur des surfaces imperméables de moins d'un hectare, comme un stationnement ou un terre-plein routier (Toronto and Region and Credit Valley Conservation Authorities, 2011). Deux grandes catégories sont reconnues. La première permet l'infiltration complète des eaux de ruissellement. Ce type d'aménagement est adéquat lorsqu'une recharge de la nappe phréatique est souhaitable et que l'infiltration ne présente pas de risque de contamination (MDDEFP et MAMROT, 2011). Un substrat davantage poreux sera alors privilégié afin d'augmenter la capacité d'infiltration à plus de 25 mm/h. Ce type d'ouvrage permettrait de réduire de 85 % en moyenne l'évacuation des eaux d'un site vers le réseau d'égout (Toronto and Region and Credit Valley Conservation Authorities, 2011).

Dans les cas où les eaux de ruissellement risquent d'être contaminées avant de pénétrer l'aire de biorétention, il est préférable d'installer un drain souterrain perforé pour capter une partie des eaux. Ce système de filtration partielle doit comprendre idéalement un substrat qui ralentit la vitesse d'infiltration à moins de 15 mm/h (MDDEFP et MAMROT, 2011). En effet, une filtration plus longue dans la couche de substrat favorise les processus naturels de dépollution. Si l'aire de biorétention est connectée à une zone fortement polluée (autoroute, station d'essence, site industriel, etc.), une

membrane imperméable peut être installée au niveau du drain pour empêcher tout contact avec la nappe phréatique (MDDEFP et MAMROT, 2011). Le tableau suivant résume les principales caractéristiques des deux types d'aires de biorétention.

Tableau 3.1 Comparaison entre les deux principaux types d'aires de biorétention

Type de système	Caractéristiques	Avantages	Limites
Infiltration complète	Sans drain. Substrat permettant une infiltration rapide de l'eau (plus de 25 mm/h).	Permet une recharge de la nappe phréatique. Détourne jusqu'à 85 % des eaux du réseau d'égout. Retire une grande variété de polluants.	Non-recommandé pour drainer les sites pollués.
Filtration seulement	Avec drain et membrane imperméable. Substrat avec infiltration lente (moins de 15 mm/h)	Empêche la contamination de la nappe phréatique notamment par des nutriments.	Détourne seulement 45 % des eaux du réseau d'égout par l'évapotranspiration du sol et des végétaux. Moins performant pour assainir les eaux.

Les figures 3.1 et 3.2 illustrent les systèmes des deux principaux types d'aires de biorétention.

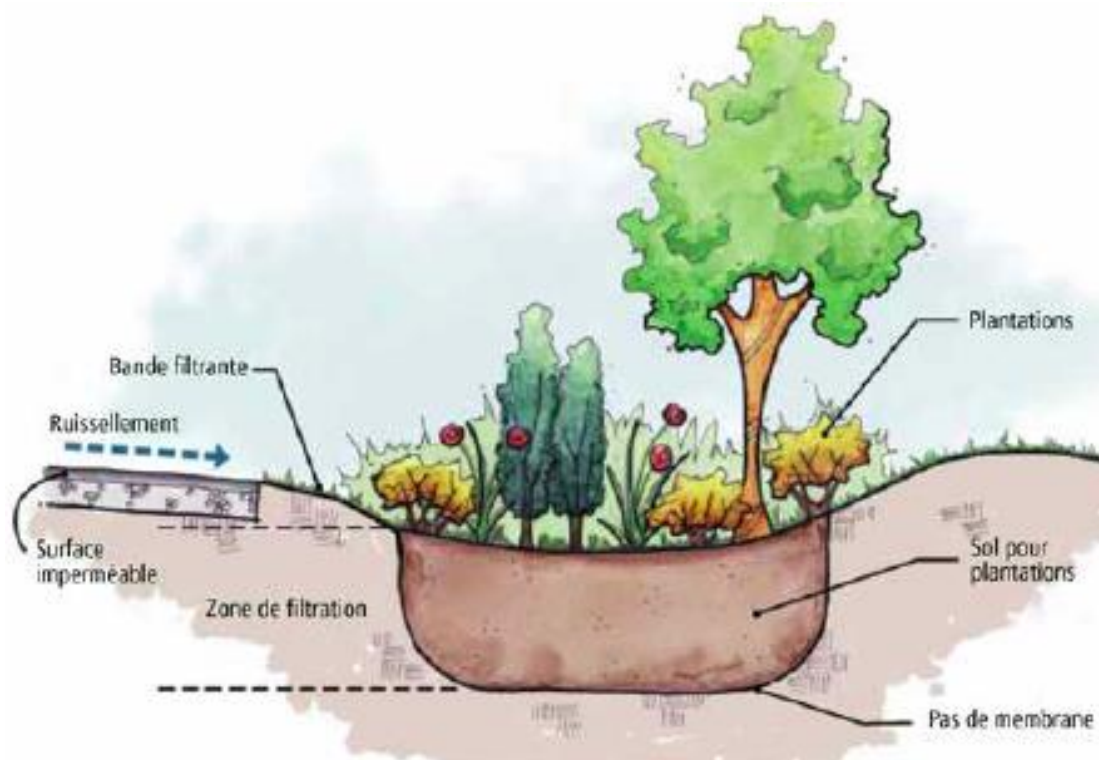


Figure 3.1 Aire de biorétention avec infiltration complète (sans drain) (Tiré de : MDDEFP et MAMROT, 2011)

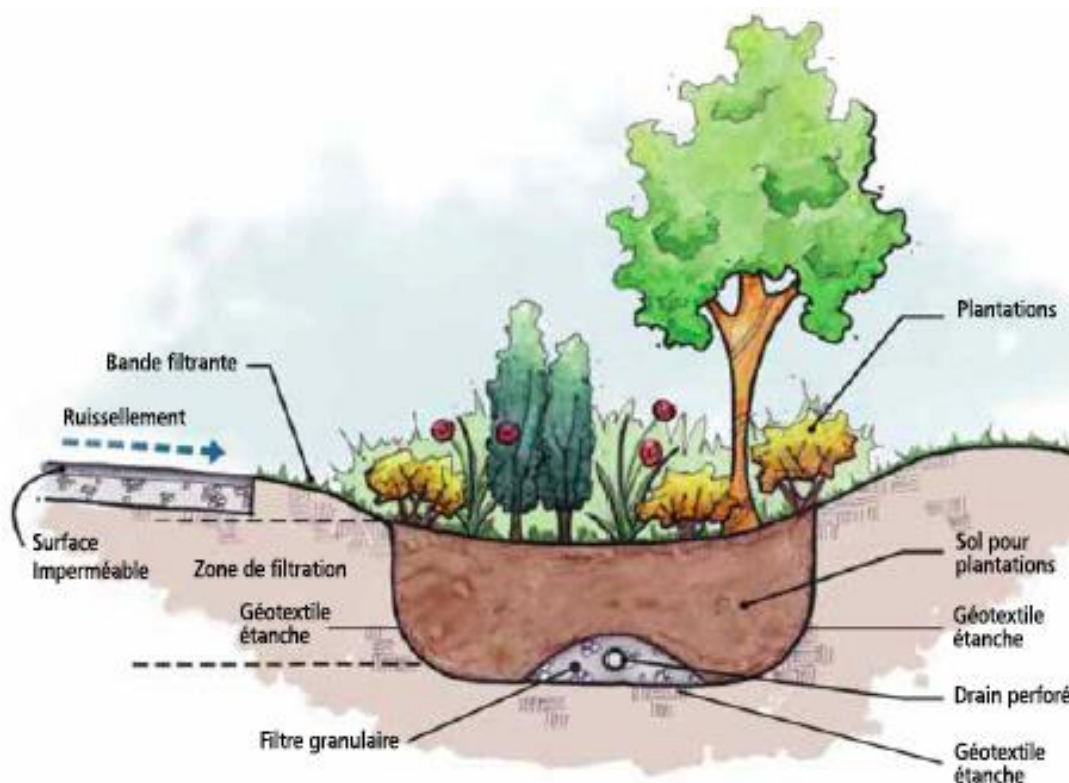


Figure 3.2 Aire de biorétention à filtration seulement (avec drain et membrane étanche) (Tiré de : MDDEFP et MAMROT, 2011)

En plus de freiner le phénomène de surverses et d'autres enjeux hydrologiques tels que des inondations localisées, les aires de biorétention peuvent améliorer significativement la qualité des eaux de ruissellement. Selon plusieurs études, elles se révèlent très efficaces pour retirer des polluants tels que les matières en suspension, les coliformes fécaux et les métaux lourds (Toronto and Region and Credit Valley Conservation Authorities, 2011). Cependant, les sels de déglacage comportent plusieurs défis pour les végétaux. Non seulement ils appauvrissent la qualité des sols et affectent la croissance des plantes, ils entraînent la mobilisation de métaux lourds dans l'environnement (Lax et Peterson, 2009). Il importe donc d'intégrer des plantes plus résistantes aux sels dans ces ouvrages.

Voici d'autres considérations techniques à prendre en compte pour l'optimisation d'une aire de biorétention :

- Une zone de prétraitement des eaux devrait être prévue en amont du bassin afin d'éviter que des sédiments et des éléments grossiers n'obstruent le système. Une tranchée de gravier grossi, un bassin de décantation muni d'une grille ou une bande de végétation filtrante (surface gazonnée en pente) permettraient de les intercepter (figure 3.3). Un séparateur des eaux provenant des toits et des chaussées apporterait également un meilleur rendement;

- Une distance de 4 m devrait être respectée entre l'aire et les fondations des immeubles à proximité, à moins d'isoler la biorétention par une membrane imperméable;
- Une couche de paillis devrait recouvrir le substrat pour protéger le sol de l'érosion, conserver son humidité et intercepter des polluants tels que les HAP;
- Les espèces végétales devraient être choisies en fonction de leur résistance aux alternances entre les périodes sèches et pluvieuses, et à l'eau chargée de sels de déglacage;
- Afin de contrôler la quantité d'eau retenue en surface, l'installation d'un drain perforé muni d'une vanne d'activation permettrait d'assécher le terrain au besoin;
- Une profondeur d'au moins un mètre devrait séparer la base du système de biorétention de la nappe phréatique. (Toronto and Region and Credit Valley Conservation Authorities, 2011; MDDEFP et MAMROT, 2011)

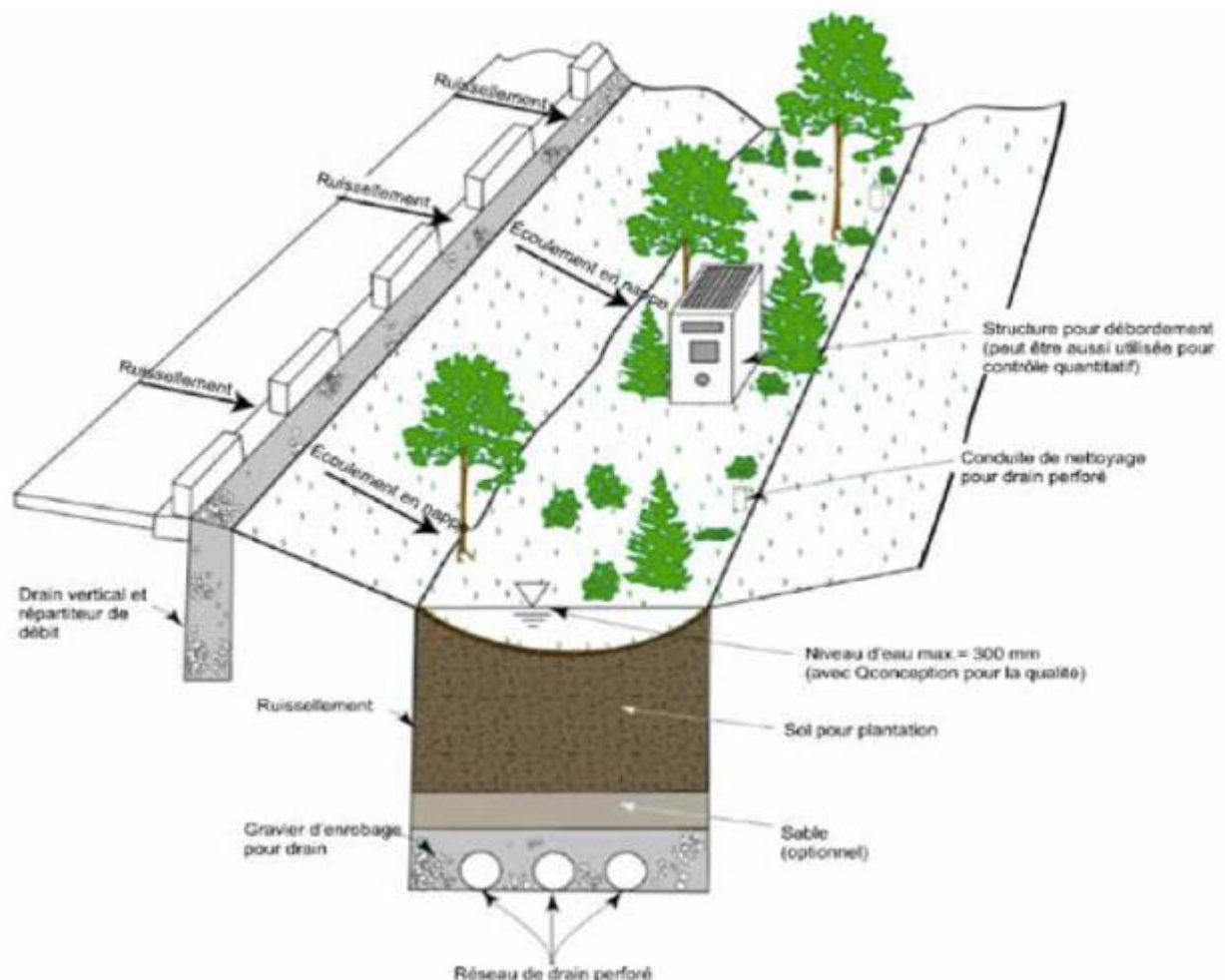


Figure 3.3 Composants d'une aire de biorétention à filtration partielle avec bandes de végétation et de gravier filtrantes (Tiré de : MDDEFP et MAMROT, 2011)

Bien qu'elles soient principalement conçues pour réduire les volumes d'eaux de ruissellement, les biorétentions peuvent contribuer à la lutte aux ICU. Peu d'études ont été menées pour évaluer leur performance pour ce service. Cependant leurs composants, soit les petits arbres, les plantes et les sols, sont toutes reconnues pour refroidir l'atmosphère par les processus d'évapotranspiration. De plus, un substrat humide est plus frais qu'un substrat sec et aurait des propriétés de rafraîchissement semblables aux plantes (INSPQ, 2009). D'ailleurs, des villes comme Philadelphie considèrent les aires de biorétention comme des moyens de lutte aux ICU (Philadelphia Water Department, 2018). Il revient aux écologistes urbanistes de concevoir des ouvrages comportant des végétaux au feuillage fourni, si le contexte le permet, afin de promouvoir le rafraîchissement de l'air par l'évapotranspiration.

Enfin, il est important de souligner la flexibilité des aires de biorétention en milieu urbain : elles peuvent desservir un site de petites dimensions, ce qui est idéal pour les zones urbanisées comportant beaucoup d'obstructions et de contraintes infrastructurelles; elles peuvent être simples ou sophistiquées, dépendant du potentiel de contamination du site; elles sont peu coûteuses à entretenir (Philadelphia Water Department, 2018). Elles s'avèrent donc une phytotechnologie de choix dans un contexte urbain.

3.1.2 Toits végétalisés

La végétalisation des toits est une technique traditionnelle d'isolation d'origine scandinave qui revient en force pour pallier les défis climatiques des villes (SQP, 2015). Popularisés en Europe dans les années 1980, leur usage se répand maintenant en Amérique du Nord. Montréal comptait 228 toitures végétalisées sur son territoire en 2018, majoritairement sur des immeubles à condos et des bâtiments institutionnels (Fondation Espace pour la vie, 2018). Leur attrait réside dans les nombreux services écosystémiques qu'ils procurent, principalement la rétention des eaux pluviales et le rafraîchissement d'ICU. Sur ce dernier enjeu, les toits végétalisés permettent de tempérer la formation de canyons d'air chaud causée par l'élévation des édifices urbains. En outre, ils s'avèrent efficaces pour l'isolation énergétique d'un bâtiment, l'interception de polluants atmosphériques et la diversification d'habitats pour les insectes pollinisateurs et les oiseaux (MDDEFP et MAMROT, 2011).

Les toits végétalisés comprennent généralement les composants suivantes :

- Une couche d'isolant pour protéger le toit;
- Une membrane imperméable dotée d'un écran antiracine;
- Un système de drainage qui dirige les excès d'eau vers la canalisation du toit;
- Un filtre géotextile;
- Un substrat de croissance;

- Un couvert de végétaux sélectionnés en fonction des services écosystémiques recherchés et du contexte climatique. (MDDEFP et MAMROT, 2011; SQP, 2015)

Il existe deux types de toits végétalisés : extensif et intensif. La toiture verte extensive est la formule la plus simple et abordable. Elle se caractérise par un substrat mince (de 5 cm à 15 cm) et une faible diversité végétale. Son système léger et sa facilité d'entretien sont ses principaux attraits; en revanche, sa performance écosystémique est inférieure à la toiture végétalisée de type intensive. Cette dernière accueille un terreau profond (plus de 30 cm d'épaisseur) permettant la croissance d'une grande variété de végétaux, même des arbres de moyenne taille, pour un substrat d'un mètre ou plus. Elle peut exiger un système d'irrigation, surtout les deux premières années, pour assurer la pérennité du système. (SQP, 2015) Un renforcement de la structure du toit peut également être nécessaire pour accueillir la biomasse et l'équipement de soutien. Bien que cette formule demande un investissement plus important, ses bénéfices sont plus nombreux que la version extensive. Sa capacité de rétention des eaux de pluie s'élève à 75 % alors que le taux de rétention des toits extensifs oscille entre 25 % et 50 % (Fondation Espace pour la vie, 2018; INSPQ, 2009).

Le choix d'essences avides d'eau peut augmenter la performance d'un toit jusqu'à 50 %, en autant que le climat s'y prête (Talebi et al., 2019). Il est judicieux toutefois de varier les types d'espèces pour augmenter les chances de survie des végétaux. Du côté de la fonction de rafraîchissement des ICU, des chercheurs ont démontré que chaque lot de 1000 m² de végétation ajouté sur un toit refroidit l'air de 0,4 °C sur un rayon de 100 m (Dong et al., 2020). Cependant, aucune étude comparative portant spécifiquement sur l'impact des deux types de toits (extensif et intensif) sur l'intensité des ICU n'a été repérée dans la littérature scientifique. Les figures 3.4 et 3.5 présentent des schémas d'un toit intensif et extensif.

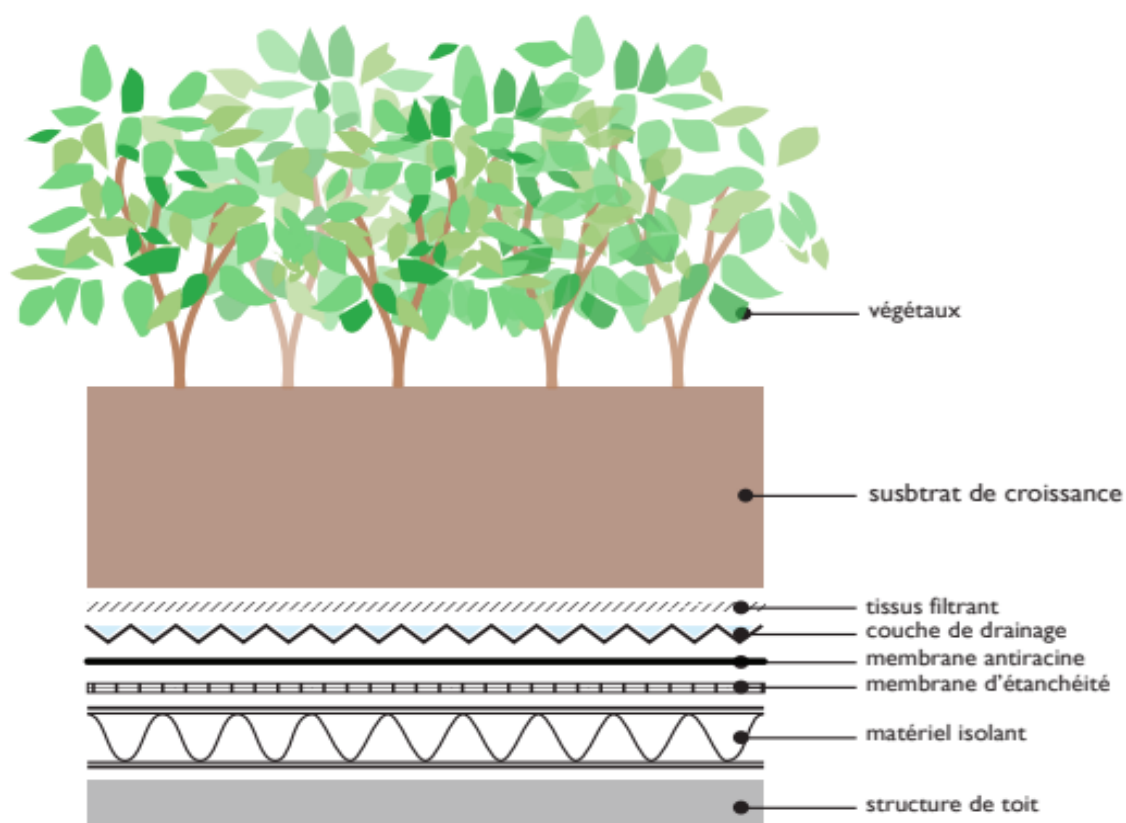


Figure 3.4 Vue en coupe d'un toit végétalisé intensif (Tiré de : SQP, 2015)

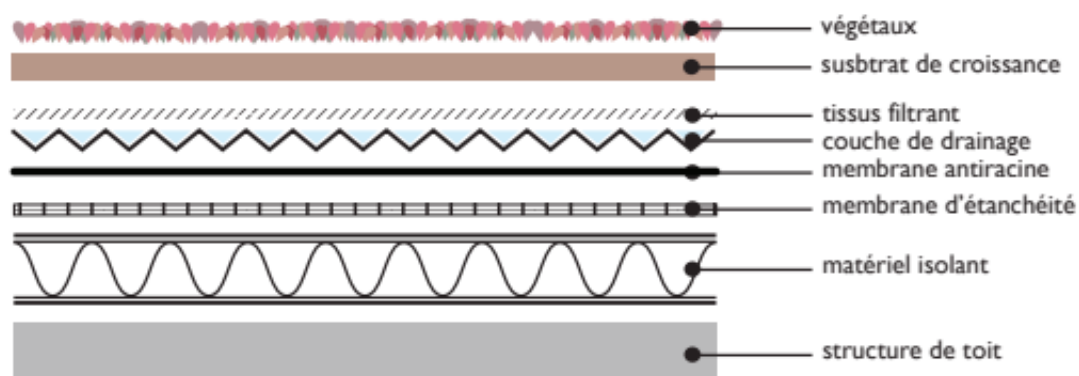


Figure 3.5 Vue en coupe d'un toit végétalisé extensif (Tiré de : SQP, 2015)

Voici quelques autres recommandations à prendre en considération lors de l'installation d'un toit végétalisé :

- La capacité des bâtiments âgés à soutenir le poids d'un substrat irrigué doit être évaluée avant de procéder à l'installation. Cette étape permettrait aussi de choisir entre un toit extensif et un toit intensif;
- Bien que les toits plats soient plus aptes à accueillir une culture végétale, un toit incliné jusqu'à 30 degrés peut être l'hôte d'une végétation extensive;

- Un substrat d'au moins 50 cm est préférable pour optimiser la rétention et la filtration des eaux pluviales;
- Le substrat devrait comporter une faible proportion de matières organiques (de 5 % à 30 %) pour prévenir sa compaction, la croissance trop rapide des végétaux et permettre un bon équilibre entre le drainage et la rétention des eaux;
- Les essences végétales doivent être choisies en fonction de leur adaptabilité aux contraintes de culture sur une toiture. Elles devraient donc être résistantes aux vents forts, être faciles d'entretien et avoir des racines peu profondes. (SQP, 2015; Fondation Espace pour la vie, 2018; MDDEFP et MAMROT, 2011)

Il est opportun de relever l'engouement de certaines municipalités pour une réglementation favorisant l'installation des toits blancs, comme dans l'arrondissement Rosemont-La-Petite-Patrie (Métro, 2015). Les études scientifiques divergent à propos de la performance des toits blancs vis-à-vis celle des toits végétalisés pour réduire l'effet d'ICU; en effet, les résultats d'analyses varient selon les caractéristiques des toits végétalisés à l'étude, par exemple la hauteur des végétaux, et celles des toits blancs, par exemple la pose d'une peinture thermochromique (apte à changer de couleur selon la température) (Kolokotsa et al., 2013). D'autant plus que leur albédo est comparable, la moyenne des toits blancs se situant à 0,8 et celle d'un toit végétalisé pouvant atteindre 0,85 (plus l'albédo se rapproche de la valeur 1, plus le pouvoir réfléchissant est fort). Cependant, le pouvoir réfléchissant des toits blancs diminue chaque année s'ils ne sont pas régulièrement nettoyés. (W. C. Li et Yeung, 2014) En outre, ils remplissent une seule fonction, contrairement aux toits végétalisés. Le tableau suivant présente les performances des toits verts extensifs et intensifs en comparaison aux toits blancs selon plusieurs fonctions et services écosystémiques.

Tableau 3.2 Performance des toits végétalisés extensifs et intensifs en comparaison avec les toits blancs (inspiré de : SQP, 2015)

Fonctions	Toit vert extensif	Toit vert intensif	Toit blanc
Rétention des eaux pluviales	Bonne	Excellente	Nulle
Réduction des ilots de chaleurs	Bonne	Excellente	Excellente
Amélioration de la qualité de l'air	Bonne	Excellente	Nulle
Création d'habitats pour la biodiversité	Bonne	Excellente	Nulle
Efficacité énergétique de l'immeuble	Bonne	Excellente	Faible

3.2 Infrastructures naturelles

Comme expliqué en introduction de ce chapitre, les infrastructures naturelles sont des milieux naturels spontanés avec peu d'aménagement nécessaire. En termes de résilience, l'arbre est une infrastructure extrêmement utile qui livre bon nombre de services écologiques. Il possède une taxonomie diversifiée et est très adaptable au contexte urbain. Il représente donc la troisième et dernière INP qui sera détaillée ci-dessous et mise à contribution dans les recommandations d'aménagement résilient en clôture de l'essai.

3.2.1 Arbres

L'arbre est un agent par excellence pour réduire la quantité d'eaux de ruissellement en milieu urbain et lutter contre les ICU, qu'il soit présent dans des parcs, des corridors verts ou des ouvrages phytotechnologiques comme des biorétentions. Non seulement est-il très efficace, son entretien est peu exigeant ni onéreux, pour peu qu'il soit protégé adéquatement des assauts routiers (collisions, sels de déglacage, déneigeuses) et que son milieu de vie soit propice à sa croissance (sols adéquats, apport en eau suffisant). En matière d'interception des eaux pluviales, un arbre et son substrat agissent comme un mini-réservoir. D'abord, une partie de l'eau est interceptée par le feuillage et évaporée dans l'atmosphère avant de toucher au sol. L'écorce de l'arbre ralentit également le trajet et la quantité de gouttes de pluie qui ruissellent jusqu'à la base. Les racines encouragent l'infiltration de l'eau dans le sol et sa circulation jusqu'aux feuilles d'où elles s'évaporent, complétant ainsi le cycle d'évapotranspiration (figure 3.6). Ces processus permettent à un arbre d'intercepter entre 0,2 et 0,4 m³ d'eau lors d'un orage. (McPherson, 2007)

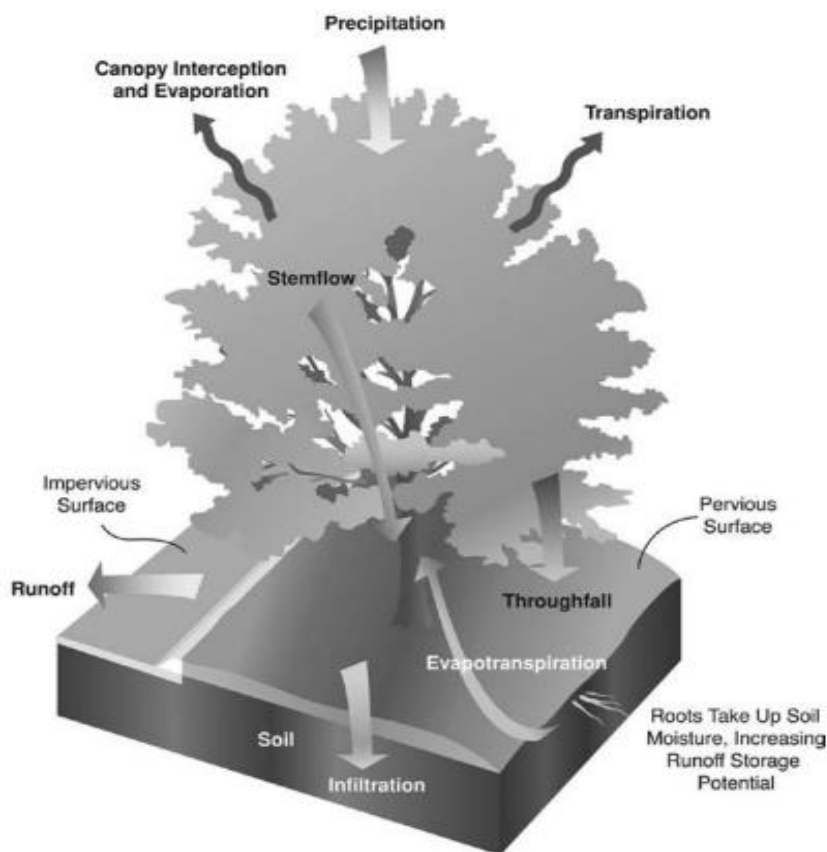


Figure 3.6 Fonctions d’interception et d’évapotranspiration des eaux pluviales d’un arbre (Tiré de : McPherson, 2007)

La taille d’un arbre sera un bon indice de la quantité d’eau qu’il pourra intercepter. Cependant, les chercheurs américains McPherson et al. (2007) ont établi que l’espèce d’arbre est le meilleur indicateur de sa performance, car leurs composants (orientation et grandeur des branches, largeur des feuilles, relief d’écorce, etc.) varient grandement et il est peu recommandable de prendre en compte seulement une d’elles. Un exercice de modélisation dans un parc de Toronto a identifié trois espèces qui interceptaient davantage les eaux de pluie : le noyer noir, l’orme et l’érable argenté (Millward et Sabir, 2011). Dans une étude montréalaise, les espèces championnes identifiées pour ce service sont le peuplier deltoïde, l’érable argenté, l’érable de Norvège, le tilleul d’Amérique et le tilleul commun (Maure, et al., 2018). Collectivement, les arbres publics de la métropole détournent 344 200 m³ d’eau de ruissellement des égouts par année (Maure, et al., 2018).

En plus du service d’interception d’eaux, les arbres urbains contribuent à tempérer les ICU de deux façons : en offrant de l’ombre et par son mécanisme d’évapotranspiration, tel qu’expliqué précédemment. Un arbre mature libérerait jusqu’à 450 l d’eau par jour, soit l’équivalent de cinq climatiseurs fonctionnant 20 heures par jour. Cependant, contrairement à la climatisation technologique, ce service est rendu sans affecter la demande énergétique, sans rejet de chaleur et

sans bruit. (Maure, et al., 2018) En outre, la plantation d'arbres permet un abaissement collectif et équitable de la température des ICU à l'opposé des climatiseurs qui ne profitent qu'aux foyers propriétaires.

Son emplacement détermine en grande partie son impact. Par exemple, la proximité d'un arbre à un bâtiment peut faire varier la température intérieure jusqu'à une distance de 18 m en fonction de son positionnement (McPherson et al., 2017). Cependant, l'effet d'atténuation des ICU est décuplé lorsque les arbres sont regroupés. Plus un boisé urbain sera grand, plus son rayon de fraîcheur sera large dans les quartiers avoisinants (Vaz Monteiro et al., 2016). Lorsque les parcs urbains sont connectés en couloirs verts, ils agissent comme une barrière de fraîcheur. Par exemple, une distance maximale de 150 m entre de petits parcs de 0,3 km² tempèrerait de 0,7 °C la température à l'échelle d'une ville (Vaz Monteiro et al., 2016). La connectivité entre les arbres est donc importante, d'autant plus qu'ils sont eux-mêmes plus vulnérables aux chocs thermiques lorsqu'isolés, comme expliqué à la section 2.1.2. Les arbres à feuilles caduques de l'Amérique du Nord seraient beaucoup moins résistants au réchauffement climatique que les conifères (Lanza et Stone, 2016).

Les arbres urbains évoluent dans des conditions difficiles; par conséquent, leur taux de survie est plus faible qu'en forêt. Leur taux de mortalité annuel est estimé à entre 3 % et 10 % selon les études (Limoges, 2017). L'EPA établit la longévité moyenne d'un arbre de rue entre sept et dix ans. Le manque d'espace pour les racines, la faible qualité des sols et une mauvaise irrigation seraient les principales causes de mortalité (EPA, 2016; Normandin, 2019, 20 mai). La population des espèces en ville étant moins diversifiée, les arbres y sont plus vulnérables aux maladies et aux insectes ravageurs. Par exemple, la forêt urbaine de Montréal a été lourdement affectée par l'agrile, qui a entraîné l'abattage de 47 395 frênes depuis 2012 (Ville de Montréal, 2020a). Pour renverser la tendance, des arrondissements et villes liées de Montréal, responsables de la plantation et de l'entretien d'arbres publics, privilégient dorénavant les fosses d'arbres élargies (Ville de Montréal, s.d.g). C'est le cas de l'arrondissement Rosemont-La-Petite-Patrie qui agrandit systématiquement les fosses d'arbres lors de réfections routières (Delacour, 2019, 26 avril). De son côté, Saint-Laurent exige un volume de substrat de 10,5 m³ minimum pour les fosses d'arbres à développement moyen sur les terrains privés (Saint-Laurent, s.d.a).

Voici quelques recommandations additionnelles de l'EPA (2016) pour favoriser leur croissance et survie :

- Il est primordial d'accorder amplement d'espace pour le déploiement racinaire des arbres. Les racines peuvent occuper un espace de deux à quatre fois plus important que la canopée. Ainsi, un grand arbre pourrait avoir besoin de jusqu'à 42 m³ de substrat pour s'épanouir;

- Le substrat d'accueil devrait être bien aéré pour permettre aux racines d'absorber l'eau et l'oxygène. Il faut par ailleurs éviter la compaction du sol après la plantation;
- Lorsque la plantation d'une rangée d'arbres est possible, ou déjà disposée, il est préférable d'aménager une fosse en continu pour optimiser la santé des arbres;
- Les matériaux de recouvrement à proximité des arbres devraient être poreux ou favoriser l'irrigation du sol, comme des dalles alvéolées;
- L'accent devrait être mis sur la biodiversité et la sélection d'espèces résistantes aux insectes ravageurs, aux chocs climatiques et aux sels de déglacage, tout en évitant les espèces exotiques envahissantes;
- Sur un site comportant d'importantes obstructions, le volume d'occupation des racines peut être optimisé à l'aide de trottoirs « suspendus » ou soutenus par une structure souterraine dite « cellulaire » qui laisse filtrer la terre (figure 3.7).



Figure 3.7 Exemples d'aménagement de trottoirs avec structure cellulaire à gauche et piliers à droite pour optimiser l'espace du sol et des racines de l'arbre (Tiré de : EPA, 2016)

4. STRATÉGIES DE RÉSILIENCE : DE MONTRÉAL À BARCELONE

Le concept de la résilience est aujourd'hui embrassé par les municipalités comme un nouveau paradigme de gestion de risque climatique (Cariolet, Vuillet et Diab, 2019). Cependant, les stratégies et les résultats varient grandement d'une ville à l'autre en fonction des enjeux et du contexte. Comme expliqué au chapitre 2, le règne de l'automobile dans les villes est une des principales causes de leur vulnérabilité climatique. C'est pourquoi des villes comme Barcelone ont choisi de restreindre la circulation automobile et de restituer l'espace public à la vie humaine et végétale.

Devant le vieillissement et la désuétude grandissante des systèmes technologiques, des villes vont au-delà des traditionnelles solutions de rénovation et de renforcement d'infrastructures grises (McPhearson et al., 2016). Beaucoup adoptent maintenant une approche systémique intégrant des INP dans leur stratégie de résilience. Elles profitent de ces interventions à plus petite échelle pour intégrer des projets participatifs citoyens dans le maillage urbain, comme à Paris (Maire, 2019). La flexibilité, les faibles coûts et les bénéfices multiples des INP sont autant d'arguments en faveur de leur adoption (Bush et al., 2019).

Ce chapitre s'ouvre sur un tour d'horizon des plans et programmes mis en place à Montréal. L'administration de la métropole utilise davantage le terme « adaptation » que « résilience » face aux changements climatiques; ce vocable sera donc respecté. Par la suite, des exemples inspirants de stratégies internationales seront présentés. Elles ont en commun une redéfinition de l'aménagement territorial à l'échelle du quadrilatère. Cette approche permet une gouvernance et un aménagement de proximité, en phase avec les besoins de résilience des résidents.

4.1 Montréal met le cap sur la canopée

À Montréal, les actions d'adaptation se déclinent sur deux échelles d'intervention : celles dont la mise en œuvre est assurée par les services centraux, et celles qui sont assumées par les arrondissements et villes liées. La Ville de Montréal a consolidé les mesures phares déjà en place dans son Plan d'adaptation aux changements climatiques 2015-2020 (PACC). Ces mesures étaient déjà prévues dans des plans, des politiques et des programmes développés par les services centraux de la Ville. Globalement, la Ville de Montréal mise surtout sur la plantation d'arbres sur son territoire pour augmenter la rétention et l'infiltration des eaux de ruissellement et pour réduire l'intensité des ICU. Le Plan de développement durable 2010-2015 (Division du développement durable), le Programme de revitalisation urbaine intégrée (Service de la diversité sociale et des sports), le Plan d'action canopée 2012-2021 (Services des grands parcs, du verdissement et du mont Royal) et le Guide d'aménagement durable des rues de Montréal (Services de la voirie, des infrastructures et des transports) comportaient tous des objectifs en ce sens. Le PACC recense également les engagements

des arrondissements, par exemple en termes de règlements sur les toitures, dans le but avoué d’inspirer des actions similaires auprès d’autres unités administratives. (Ville de Montréal, 2017b)

Un projet phare copiloté par la Ville et deux arrondissements (Ahuntsic-Cartierville et Villeray-Saint-Michel-Parc-Extension) a permis l’implantation d’une chaîne de bassins de biorétention sur l’avenue Papineau en 2017. La Ville de Montréal a profité de la réfection de la route pour expérimenter la gestion écologique des eaux pluviales dans ce secteur fortement minéralisé. Pour ce faire, les voies de circulation ont été réduites à 10 m, le terre-plein a été verdi et des biorétentions de 3,5 m de largeur ont été installées sur deux km. Le comité de pilotage du projet, formé des arrondissements et des services des transports et des infrastructures de la Ville, a choisi de créer 25 aires à infiltration complète et 15 à filtration partielle (avec drain souterrain) permettant de détourner des égouts 95 % des eaux pluviales régulières. Fait intéressant, l’eau de la rue est acheminée à l’ouvrage par un puisard plutôt que par une entrée en surface. Une vanne d’arrêt à la base du puisard est connectée au système d’égout; cette vanne est ouverte en temps hivernal afin d’éviter la contamination des biorétentions aux sels de déglacage. (Ville de Montréal, 2019a; Gobeille, 13 octobre 2018) Au total, 450 arbres et 20 000 arbustes ont été plantés au cours de ce projet de 20 millions de dollars (incluant les frais des travaux d’aqueduc et de la chaussée) (Gobeille, 13 octobre 2018). Présentement à l’étude, le site devrait permettre à la Ville de Montréal de développer un programme élargi d’aires de biorétention pour l’ensemble de son territoire (EXP, s.d.). La figure 4.1 présente un des bassins de biorétention de l’avenue Papineau.



Figure 4.1 Aires de biorétention de l’avenue Papineau à Montréal (Tiré de EXP, s.d.b)

Du côté des arrondissements, la décentralisation des mesures d'adaptation fait en sorte que la réponse face aux enjeux des ICU et des surverses varie d'une unité administrative à l'autre. Comme pour les services centraux, la grande majorité mise sur la plantation et la protection d'arbres ainsi que sur l'adoption de pratiques de gestion optimales des eaux pluviales, pouvant englober autant les barils de pluie, que les noues et les pavages perméables (Ville de Montréal, 2019b). Un arrondissement se démarque toutefois du lot.

L'arrondissement Saint-Laurent a adopté un règlement obligeant l'aménagement durable des stationnements afin de contrer la formation d'ICU. Ce règlement exige que 40 % des cases de stationnement soient couvertes d'une canopée d'arbres matures (Saint-Laurent, 2013). Parmi les nouveaux stationnements certifiés « écoresponsables », deux d'entre eux comportent une aire de biorétention, soit le stationnement Ouimet-Sud et celui de la bibliothèque du Boisé. L'arrondissement profite également des réfections routières sur son territoire pour créer des ouvrages de biorétention pouvant accueillir les eaux de ruissellement. (Saint-Laurent, s.d.b)

Dans l'ensemble, il manque à la Ville de Montréal une vision et une planification fédératrices servant à rehausser massivement la résilience du tissu urbain de l'agglomération. Pour l'heure, la Ville mise sur le développement de « quartiers laboratoires » qui jetteraient les bases de grandes stratégies pour l'ensemble de l'agglomération. Par exemple, elle a précisé ses intentions d'aménagement du futur quartier des Faubourgs, un territoire de 53 hectares adjacent au fleuve Saint-Laurent, dans le cadre d'un Programme particulier d'urbanisme en mars 2020. Dans une section dédiée aux « Réseaux et aménagements résilients », la Ville planifie trois axes d'intervention. D'abord, un reboisement important qui doublerait le nombre d'arbres dans le secteur, afin de réduire les ICU. Ensuite, une gestion en surface des eaux de pluie afin de relâcher la pression sur les infrastructures grises. L'objectif est d'implanter des aires de biorétention, des noues et des saillies de trottoir drainantes aux dépressions topographiques sur trois grandes artères. Enfin, étant donné la densification importante de ce secteur, la Ville envisage d'exiger la végétalisation des cours et des toitures des nouveaux bâtiments. (Ville-Marie, 2020a)

Plus au nord, le futur quartier Namur-Hippodrome, dont les consultations publiques ont eu lieu à l'hiver 2020, s'annonce comme un projet ancré dans la transition écologique. Les cinq priorités qui orienteront le développement du quartier de 75 hectares sont : une faible empreinte écologique; des services de proximité et des logements abordables; une mobilité active et collective; une identité intégrant l'héritage agricole du site; un réseau d'espaces verts. Sur ce dernier point, la Ville prévoit la mise en place d'un « dispositif de gestion écologique des eaux de ruissellement contribuant à la réutilisation de l'eau et à la résilience du quartier ». Elle envisage également une ceinture verte et des

corridors verts dans le secteur aux prises avec d'importants ICU dus à la présence de vastes terrains de stationnements. (Ville de Montréal, 2019c)

Le moment est opportun pour développer un programme inspiré de ces projets phares pour l'ensemble de l'agglomération. En réponse aux phénomènes d'inondations à la hausse, le gouvernement provincial vient d'annoncer une aide de 270 millions de dollars aux municipalités québécoises pour des initiatives d'« aménagements résilients » dans le cadre de son Plan de protection du territoire face aux inondations paru en mars 2020 (Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation, 2020). Ce volet important du plan comprend des mesures de végétalisation et d'implantation de phytotechnologies. La Ville de Montréal pourra donc compter sur des aides financières dans les prochaines années pour hausser la résilience de son territoire.

4.2 Des oasis pour les écoliers de Paris

Pour développer des stratégies de lutte aux ICU, les villes doivent d'abord identifier les zones à risque sur leur territoire et la répartition géographique des populations vulnérables (Leal Filho et al., 2018). Ainsi, les municipalités sont plus à même de cibler les ICU où gravitent les citoyens les plus vulnérables pour des interventions de végétalisation (Chow et al., 2012).

C'est dans cette optique que la Ville de Paris a ciblé les cours d'école sur son territoire, ICU notoires, afin de les convertir en îlots de fraîcheur (Ville de Paris, 2017). Non seulement la mairie a identifié le risque pour les écoliers, elle a reconnu le potentiel de cohésion sociale de ces lieux publics situés à moins de 200 m de la majorité des Parisiens. Qui plus est, ils sont occupés seulement 30 % du temps (Maire, 2019). Comme l'indique le plan de résilience de Paris, « ce lieu parfaitement identifié de tous à l'échelle microlocale peut devenir une véritable oasis de fraîcheur et de bien-être en ville » (Ville de Paris, 2017).

Concrètement, le processus débute par un diagnostic de la cour en été qui permet d'identifier les enjeux climatiques. À la rentrée, l'étape de co-création entre les services de la Ville, les enfants et le personnel enseignant permet l'idéation du projet qui sera réalisé l'été suivant. Un nouveau cahier de charges propose des solutions naturelles et innovantes à l'effet d'îlot de chaleur de la cour. Voici les principales :

- La première étape consiste à « débitumer » l'espace récréatif. Les nouveaux revêtements doivent permettre l'infiltration des eaux pluviales dans le sol, être plus clairs et être faits de matériaux naturels (copeaux, herbes) ou peu polluants. Bien que les premières écoles participantes aient préféré des revêtements artificiels poreux, les premières demandes pour des zones de pleine terre ont été faites pour l'été 2020;

- Un volet important prévoit la végétalisation de la cour, par exemple par la plantation d'arbres, la végétalisation des murs et des toits et la création de jardins et de potagers pédagogiques. Les espèces végétales les plus résistantes aux chocs climatiques sont priorisées. Certains écoliers ont également installé des nichoirs et des hôtels d'insectes dans leur cour;
- Des installations offrant de l'ombre et de l'eau (fontaines, jeux d'eau) sont également prévues dans les rénovations. (Ville de Paris, 2020a; Ville de Paris, 2019; Maire, 2019)

La Ville compte ouvrir aux populations vulnérables les cours d'école « Oasis » comme refuges lors des canicules. Des assemblées citoyennes prévoient l'usage des cours en dehors du calendrier scolaire pour démocratiser leur accès. Une fois les cours transformées, elles sont évaluées sur trois ans en fonction de la température des surfaces, de la qualité de l'air, du niveau de bruit, du potentiel de biodiversité et de la capacité d'infiltration des sols. En ce qui a trait spécifiquement à la réduction de l'impact climatique, des analyses météorologiques avant/après sont conduites, tout comme des comparaisons entre les conditions dans la cour « Oasis » et celles d'un espace public à proximité. Une trentaine de cours d'école ont été transformées à l'été 2020 (figure 4.2). (Ville de Paris, 2020a) La Ville de Paris s'est engagée à convertir l'ensemble des 656 écoles sur son territoire d'ici 2040 (Duffé, 2018).



Figure 4.2 Exemple de cours « Oasis » à Paris (Tiré de : Ville de Paris, 2020a)

4.3 Barcelone s'attaque aux voitures

« Remplissons nos rues de vie » (*Let's fill streets with life*). Telle est la devise de l'Agence d'écologie urbaine (AEU) de Barcelone derrière le « super ilot » (*superilla* en catalan), une cellule urbaine qui met un frein à l'hégémonie de la voiture. Les villes d'aujourd'hui allouent jusqu'à 70 % de l'espace public aux véhicules motorisés et l'AEU cherche à réduire cette proportion à 25 % dans les rues de la capitale catalane (Mueller et al., 2020). Elle a développé un super ilot quasi piétonnier comme nouvelle unité urbaine pour répondre aux problèmes qu'elle considérait comme urgents pour les Barcelonais : un manque d'espaces verts (6,6 m² par habitant contre les 9 m² recommandés par l'Organisation mondiale de la santé), une piètre qualité de l'air menant à 3 500 décès prématurés par année et peu de places publiques de qualité. L'AEU a donc entrepris en 2016 d'apaiser la circulation routière, un quartier à la fois. Les rues de Barcelona étant disposées comme un quadrillé, l'AEU a décidé de regrouper neuf blocs ensemble, soit trois par trois, pour l'aménager en super ilot. Un diagnostic du quartier est réalisé pour identifier les besoins les plus criants (espaces verts, aires piétonnes, etc.). La constante dans tous les super ilots est un apaisement massif de la circulation routière. Les voitures qui entrent ont droit à une seule voie de 2,5 m et sont redirigées en boucle vers l'extérieur du super ilot (voir figure 4.3). La configuration routière ne permet pas de traverser le quartier, de sorte que seuls les déplacements locaux et essentiels sont encouragés. (Ville de Barcelone, 2016) Libéré de la voiture, environ 36 % de l'espace public devient disponible pour le verdissement (Rueda, 2020).

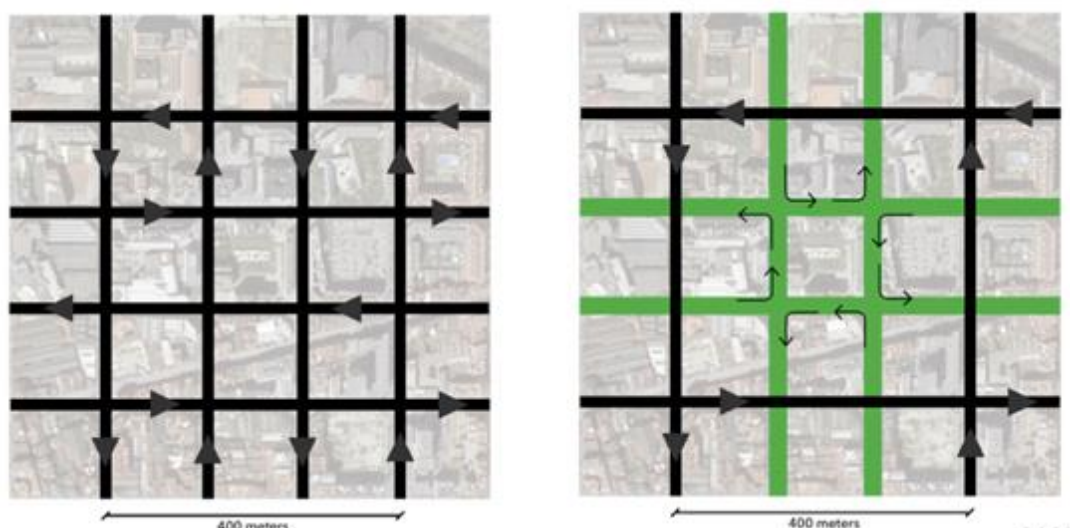


Figure 4.3 Configuration routière avant l'implantation d'un super ilot (à gauche) et après (à droite). (Tiré de : O'Sullivan, 2017, 20 janvier)

Barcelone vise trois objectifs avec ses super ilots : améliorer l'habitabilité des milieux de vie, augmenter la biodiversité et la superficie des espaces naturels, et encourager les transports collectifs et actifs. Jusqu'à présent, les résultats sont probants en matière de réduction de déplacements en voiture. Dans le premier super ilot Gràcia, les trajets en vélo ont augmenté de 30 % et le trafic routier a diminué de 40 % depuis 2007 (O'Sullivan, 2017, 20 janvier). Le retrait de cases de stationnement décourage également les trajets en voiture.

L'AEU travaille en coordination avec d'autres services municipaux afin de créer des synergies entre le programme des super ilots et trois autres plans : le plan de mobilité, le plan de biodiversité et le plan de lutte aux changements climatiques (Ville de Barcelone, 2016). Par exemple, un réseau d'autobus dense et orthogonal (c'est-à-dire en quadrillé), pensé en fonction des super ilots, est en cours d'implantation. La vision de l'AEU prévoit aussi des corridors verts sur de grandes artères (Rueda, 2020). À ce jour, quatre super ilots ont été inaugurés (Poblenou, Gràcia, El Born et San Antoni). Selon le fondateur de l'AEU Salvador Rueda, au moins 20 % des voitures à Barcelone disparaîtrait du réseau routier si l'ensemble de la ville était converti en super ilots (S. Rueda, conversation, 3 mars 2020). Une modélisation réalisée par des chercheurs barcelonais a établi que l'implantation de super ilots à l'échelle de la ville éviterait 667 morts prématurées par année. De ce nombre, 117 seraient attribuables à la réduction des ICU, avec pour hypothèse qu'un rééquilibrage de l'espace public en faveur d'aires récréatives, d'espaces verts et de pistes cyclables réduirait la température moyenne estivale de 1 °C. Les autres facteurs entraînant une baisse de la mortalité sont la réduction de la pollution au NO₂ (291 vies sauvées), la baisse de la pollution sonore (163 vies sauvées) et l'augmentation de la superficie de milieux naturels (60 vies sauvées). (Mueller et al., 2020)

Les super ilots de Barcelone captivent les urbanistes, et d'autres villes, comme Melbourne et Seattle, envisagent d'adapter la formule à leur contexte (Schmitt, 6 septembre 2019; Precel, 5 avril 2018). À Montréal, l'arrondissement Rosemont-La-Petite-Patrie a annoncé en mai 2020 de nouveaux milieux de vie à priorité piétonne inspirés des super ilots. Des « milieux de vie verts et actifs » seront graduellement aménagés pour décourager la circulation de transit et « encourager les transports actifs et le jeu libre » dans les rues résidentielles. En outre, le trafic routier sera interdit en bordure des écoles aux heures d'entrée et de sortie des écoliers. (Magalhaes, 2020, 7 mai)

4.4 New York aime les biorétentions

Tout comme Montréal, la ville de New York est aux prises avec des problèmes de surverses dans l'estuaire du fleuve Hudson à cause de son réseau d'égout à 60 % unitaire. Au lieu de miser entièrement sur de nouvelles infrastructures grises onéreuses, la mairie de New York a opté pour une combinaison de solutions d'ingénierie traditionnelles et un réseau de cellules de biorétention

(*bioswales*). Elle a ainsi présenté un vaste programme d'INP en 2010 qui prévoit 1,5 milliard de dollars américains d'investissements sur vingt ans. L'objectif de la Ville est de capter et infiltrer le premier pouce (2,5 cm) d'eau de pluie sur 10 % du territoire imperméabilisé d'ici 2030. Cette cible permettrait ultimement de prévenir le rejet annuel de 5,7 milliards de litres d'eaux d'égout via 422 ouvrages de surverses, soit 8 % à l'échelle de la ville. La Ville estime le coût des biorétentions à entre un et deux dollars par gallon (3,8 l) d'eau détourné des surverses. Dans son *Green infrastructure Program*, la mégapole vante le rendement économique des phytotechnologies et les cobénéfices importants qu'elles procurent en plus de l'interception des eaux pluviales, notamment une baisse de l'intensité des ICU, une meilleure qualité de l'air et des économies en consommation d'énergie. (Ville de New York, 2010) Afin de rassurer les New-Yorkais sur la rentabilité de cette démarche, la Ville met en ligne depuis 2014 un calculateur des bénéfices de six services écologiques rendus par les INP sur son territoire en dollars américains (Bronwyn, et al., 2015).

New York a procédé en retraçant des aires prioritaires d'intervention en amont des zones du fleuve Hudson qui brisent les normes de qualité de l'eau (figure 4.4). Il s'agit donc d'interventions ciblées dans les secteurs problématiques. Elle a favorisé l'aménagement de cellules de biorétention à infiltration complète en bordure de rue, aussi appelées « rigoles de drainage » (Bronwyn, et al., 2015; Maure, et al., 2018). Au moins 4 500 ouvrages ont été construits à ce jour pour 600 millions de dollars américains, un investissement incluant la construction, l'entretien, la recherche et la collecte de données (Ville de New York, 2019). Une cellule standard new-yorkaise comprend les éléments suivants : un filtre de petites pierres à l'entrée au niveau de la rue pour faire obstacle aux éléments grossiers, une végétation basse et un petit arbre, une couche de paillis de moins de 10 cm, un substrat d'environ 60 cm de profondeur, une membrane géotextile et une couche de pierres à la base de l'ouvrage. La biorétention est d'une profondeur de 1,52 m en tout et peut retenir jusqu'à 9 464 l d'eau. (SQP, 2018) Une étude américaine a révélé qu'une cellule d'environ 9 m² pouvait accueillir en moyenne 40 % des eaux de ruissellement provenant d'une surface de 2 145 m², soit 231 fois plus grande (Shetty et al., 2019).

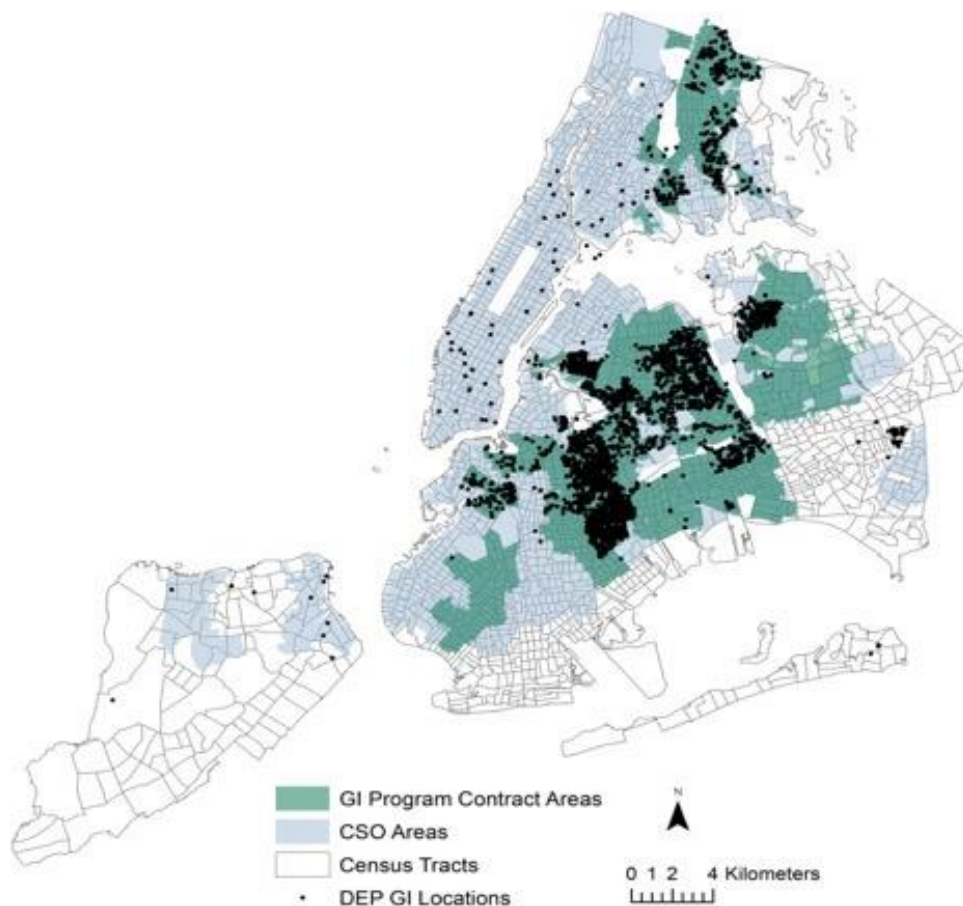


Figure 4.4 Carte de New York identifiant les aires d’égout unitaire (en gris), les aires prioritaires d’intervention (en vert) et les ouvrages complétés et projetés (points noirs) (Tiré de : Meerow, 2020)

Suite à l’ouragan Sandy qui a durement frappé les New-Yorkais en 2012, la Ville a lancé un plan de résilience climatique intégrant les biorétentions comme stratégie de réduction de surverses et de protection des infrastructures de transport (Ville de New York, 2013). Selon le bilan de 2018, les biorétentions sont en voie de réduire de 1,9 milliard de litres les eaux de surverses pour décembre 2020 (Ville de New York, 2019). Convaincue de l’efficacité de son réseau de biorétentions, la Ville de New York a annoncé l’aménagement de 5 000 cellules supplémentaires suite aux inondations de 2019 (Ville de New York, 2019, 28 août). Une des clés de son succès s’est avérée être le travail concerté de plusieurs services municipaux importants, tels que le département des transports et celui des parcs, sous la coordination de la division de la protection de l’environnement. Si la tendance se maintient, les biorétentions de New York deviendront aussi emblématiques de la ville que les taxis jaunes.

4.5 Toronto voit les toits en vert

La Ville Reine fait figure de pionnière en la matière; elle est la première ville nord-américaine à exiger légalement des toitures végétalisées sur les nouvelles constructions depuis janvier 2010 (C40 Cities, 2018). La Ville de Toronto a décidé de miser sur le verdissement massif des toits suite à une étude de faisabilité, une analyse coût-bénéfice et plusieurs consultations auprès de parties prenantes. Les trois principaux services écologiques qu'elle cible avec sa stratégie *Making Green Roofs Happen* sont la réduction des eaux de ruissellement, des ICU et de la consommation énergétique. (Ville de Toronto, s.d.a) Seuls les immeubles résidentiels, commerciaux et institutionnels d'une superficie de plancher d'au moins 2 000 m² sont soumis à ce règlement. La proportion du toit qui doit être végétalisée va de 20 % à 60 % selon la superficie brute de l'immeuble. Pour les bâtiments industriels, la proportion est de 10 %. Le règlement ne tient compte que de la surface disponible du toit, c'est-à-dire non obstruée par des équipements et des aires privées. (Ville de Toronto, s.d.b) Le tableau suivant présente les échelles de végétalisation en fonction de la taille de l'immeuble.

Tableau 4.1 Proportion de la végétalisation des toits exigée par la ville de Toronto (Tiré de : Ville de Toronto, s.d.b)

Immeubles résidentiels, commerciaux et institutionnels	
Superficie de l'immeuble (m ²)	Proportion de la surface disponible du toit à végétaliser
2 000 à 4 999	20 %
5 000 à 9 999	30 %
10 000 à 14 999	40 %
15 000 à 19 999	50 %
20 000 et plus	60 %
Immeubles industriels	
Superficie de l'immeuble (m ²)	Proportion de la surface disponible du toit à végétaliser
2 000 et plus	10 % jusqu'à un maximum de 2 000 m ²

Les propriétaires peuvent échapper à la réglementation à condition de verser 200 \$/m² dans un fonds municipal de subventions aux projets de toits végétalisés, l'*Eco-Roof Incentive Program*. Ce programme prévoit une aide de 100 \$/m² aux nouvelles constructions de moins de 2 000 m² et aux immeubles construits avant l'établissement de la loi. (Ville de Toronto, s.d.c) En date de 2017, la Ville de Toronto avait obtenu 420 demandes de permis pour des toitures végétalisées correspondant à une superficie totale de 450 000 m². À ce nombre s'ajoutent 336 projets de végétalisation de toits réalisés grâce au programme de subventions. Ces derniers ont permis de détourner onze millions de litres d'eaux de ruissellement des égouts de la Ville par année, représentant des économies d'au moins 100 000 dollars américains. (C40 Cities, 2018) Les rendements concernant les toits issus de la

réglementation n'ont cependant pas été publiés. Afin d'accompagner les propriétaires, la Ville de Toronto met à leur disposition un guide des meilleures pratiques pour optimiser la biodiversité des toits (Ville de Toronto, 2013).

5. ANALYSE MULTICRITÈRE ET MÉTHODOLOGIE

Maintenant que les enjeux climatiques ont été détaillés, que la sélection de solutions d'INP a été présentée et que des stratégies de résilience exemplaires à l'étranger ont été exposées, il convient de procéder au développement de la grille multicritère et à l'analyse. Puisque l'objectif général de cet essai est de proposer des solutions de résilience à un secteur de Montréal, l'analyse doit permettre de choisir un quadrilatère vulnérable aux ICU et aux surverses. En effet, bien qu'une approche globale et fédératrice soit souhaitable, la Ville doit être apte à hiérarchiser les quartiers les plus vulnérables dans le séquençage d'un éventuel plan de réaménagement résilient. La grille multicritère qui sera développée dans les prochaines pages pourrait faire figure d'outil à la Ville pour ses besoins de résilience face aux ICU et aux surverses.

La première étape de l'analyse consistera à choisir trois quadrilatères présentant des caractéristiques de vulnérabilité climatique et sociale. Par la suite, les critères d'analyse qui serviront à déterminer leur niveau de vulnérabilité climatique seront élaborés et justifiés en fonction de la revue de la littérature scientifique exécutée précédemment. Les systèmes de notation et de pondération seront également établis. Enfin, les trois quadrilatères seront évalués en fonction de la grille multicritère; celui qui s'avérera le plus vulnérable sera choisi pour être réaménagé en clôture de l'essai.

5.1 Quadrilatères à l'étude

Il est primordial de sélectionner des quadrilatères qui présentent déjà une certaine vulnérabilité aux surverses et aux ICU. Sur le premier enjeu, le centre et l'est de Montréal sont retenus comme secteurs prioritaires à l'étude puisqu'ils sont desservis par le réseau d'égout unitaire, contrairement à la pointe ouest de l'île. Cette première délimitation permet d'assurer que les quadrilatères candidats sont en amont des phénomènes de débordements d'égout.

La prochaine étape consiste à choisir dans ces secteurs trois écoles montréalaises dont les cours sont fortement minéralisés et peu végétalisés. Trois quadrilatères seront par la suite délimités autour de ces établissements. Cette démarche inspirée des cours « Oasis » de Paris permet de cibler des zones à risque fréquentées par un groupe vulnérable reconnu, soit les écoliers.

La sélection se fera à partir d'une évaluation des cours d'école du Québec exécutée en 2019 par une équipe du Journal de Montréal. Au cours de cette opération, les espaces récréatifs d'établissements scolaires dans cinq grandes villes de la province ont été examinés afin de leur attribuer une note. Une courte description des sites accompagne la carte interactive des écoles évaluées. (Ménard, 5 octobre 2019) Trois écoles primaires de Montréal ayant obtenu une faible note seront retenues, de préférence dans des arrondissements différents afin d'aider la prise de décision. Le but étant de venir en aide à

des quartiers vulnérables, les arrondissements Rosemont-La-Petite-Patrie et Plateau-Mont-Royal seront écartés à cause de leurs importants milieux naturels et des récentes initiatives de leurs maires pour rehausser la résilience du territoire et des populations (Gerbet, 12 novembre 2019; Léveillé, 22 novembre 2019).

Après avoir révisé le palmarès en question, trois écoles ont été sélectionnées. Puisque cette étude sera réalisée par une seule personne, l'échelle des quadrilatères sera microlocale afin d'assurer sa faisabilité dans un délai raisonnable. Le périmètre des quadrilatères entourant chaque école a donc été établi à environ 40 000 m².

Voici une brève description des écoles, du périmètre des quadrilatères et du profil sociodémographique des arrondissements dans lesquels ils se situent :

1. École Saint-Anselme, 2743 rue de Rouen, H2K 1N2, arrondissement Ville-Marie.

L'établissement de 240 élèves a obtenu une note de 50 % de la part du Journal de Montréal (École Saint-Anselme, s.d.). Les évaluateurs ont déploré un manque d'espaces verts et des installations vétustes dans la cour d'école.

Le quadrilatère est délimité par la rue de Rouen au sud, la rue Hochelaga au nord, la rue Gascon à l'ouest et la rue Hogan à l'est (figure 5.1). Il comprend la résidence pour personnes âgées Habitations Ste-Marie sur la rue Bercy qui compte 58 locataires (B. Blouin, correspondance téléphonique, 2020, 19 juin).

Le quadrilatère Saint-Anselme se trouve près de la limite est de l'arrondissement Ville-Marie. L'identité de cet arrondissement est fortement hétérogène puisqu'il comprend entre autres le centre-ville économique de Montréal, le Vieux-Montréal, le Quartier international, le Quartier chinois et le Village gai. Ville-Marie a connu une forte croissance démographique de 6,1 % de 2011 à 2016, année où sa population a été établie à 89 710 habitants. En comparaison, les deux autres arrondissements des quadrilatères à l'étude ont vu leur population augmenter de 0,9 % (Côte-des-Neiges-Notre-Dame-de-Grâce) et 1,1 % (Villeray-Saint-Michel-Parc-Extension) seulement. Ville-Marie accueille une population multiethnique dont 18,3 % parlent une autre langue que le français ou l'anglais à la maison. Un tiers de la population est d'origine étrangère. Le revenu annuel médian se situe à 25 486 \$ par personne. (Ville de Montréal, 2018d)

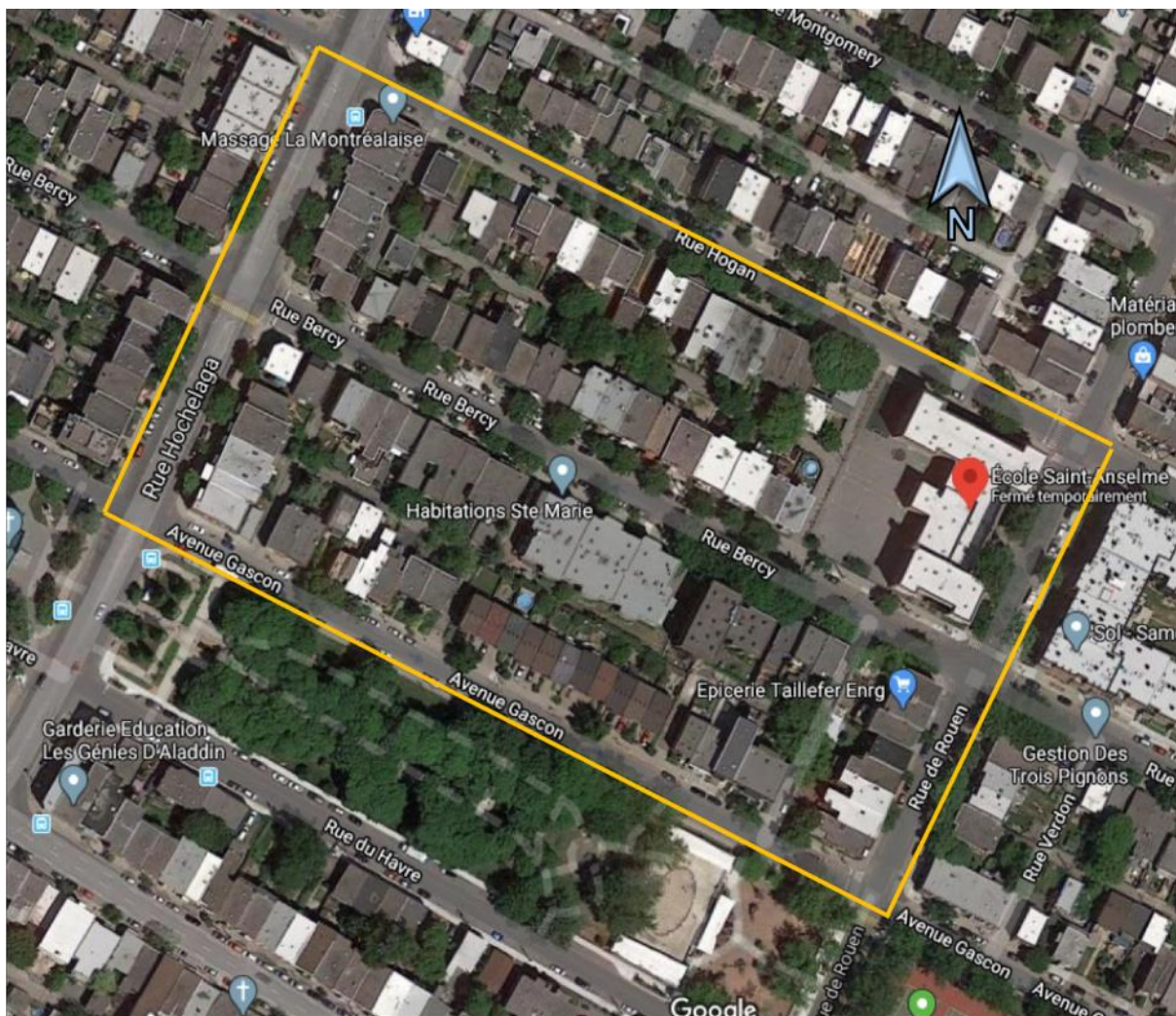


Figure 5.1 Délimitation du quadrilatère Saint-Anselme (Image créée à partir de Google Maps)

2. École Saint-Gabriel-Lalemant, 7350, rue Garnier, H2E 2A1, arrondissement Villeray-Saint-Michel-Parc-Extension.

L'établissement de 332 élèves n'offre aucune verdure dans sa cour d'école principale, d'où sa note de 60 % (Ménard, 5 octobre 2019).

L'hôpital Jean-Talon est situé à la limite sud du quadrilatère, sur la rue Jean-Talon. La limite ouest du quadrilatère est démarquée par la rue de Lanaudière qui aboutit sur un tronçon de ruelle. Le quadrilatère est délimité par la rue Everett au nord et la rue Garnier à l'est. La rue Rousselot et la rue de Castelnau traversent le quadrilatère, encadrant l'école primaire Saint-Gabriel-Lalemant (figure 5.2). Il est à noter que le quadrilatère délimité ne comprend pas les établissements de petite enfance et de maternelle annexés à l'école et situés en face de celle-ci.

Villeray-Saint-Michel-Parc-Extension est le second arrondissement le plus peuplé de l'agglomération, avec 143 853 habitants à majorité francophones. Seul l'arrondissement Côte-des-Neiges-Notre-Dame-de-Grâce le surpasse, avec une population de 166 520. S'il n'est pas le plus multiethnique de Montréal, l'arrondissement représente tout de même une terre d'accueil pour 40 % de sa population, provenant principalement d'Algérie, d'Haïti, du Maroc et de la France. Le revenu personnel médian est de 23 432 \$, ce qui classe l'arrondissement parmi les plus pauvres de l'île. (Ville de Montréal, 2018b)

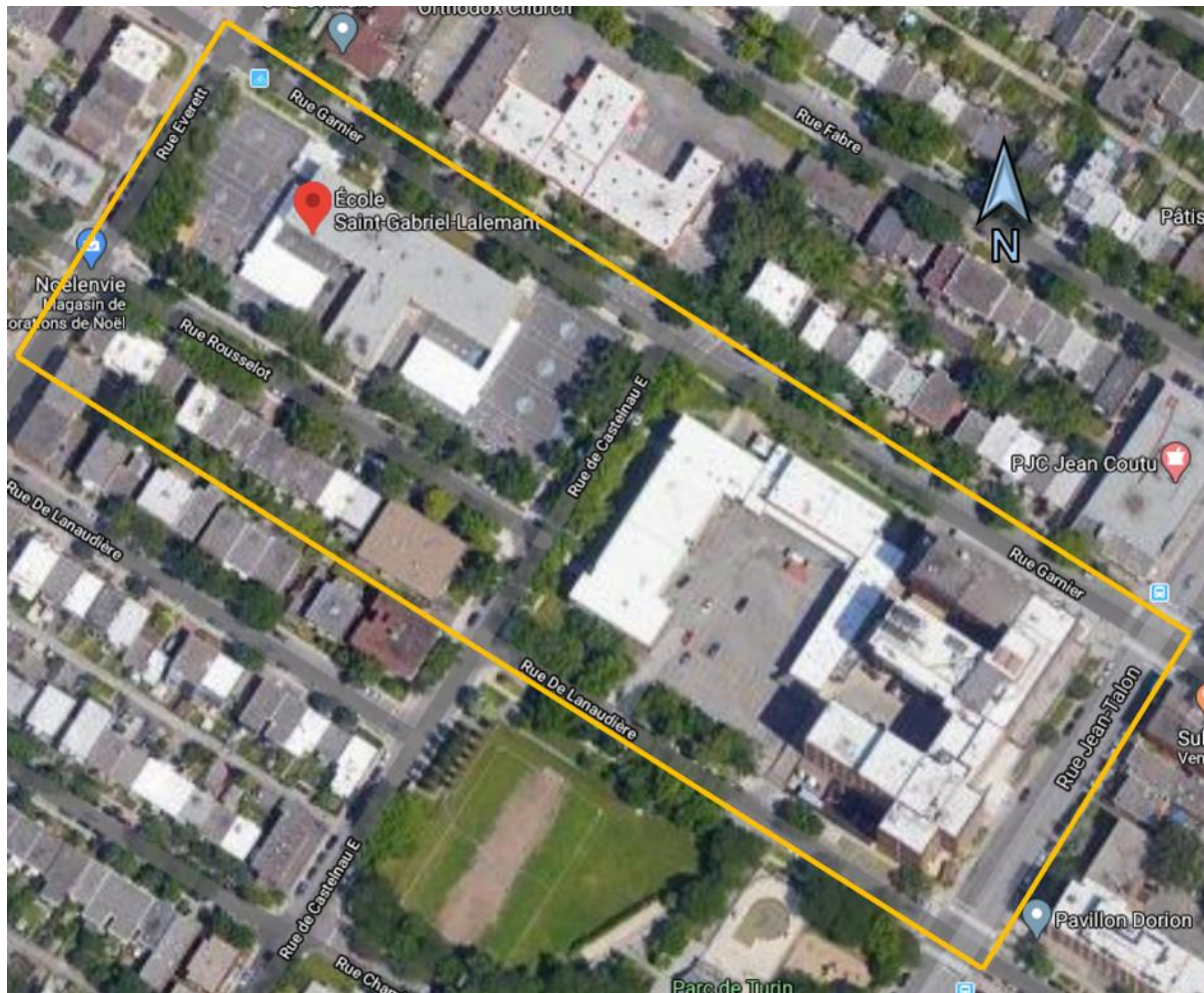


Figure 5.2 Délimitation du quadrilatère Saint-Gabriel-Lalemant (Image créée à partir de Google Maps)

3. École des nations, 4860 Rue Vézina, Montréal, H3W 1C1, arrondissement Côte-des-Neiges-Notre-Dame-de-Grâce.

L'institution de 560 élèves (R. Bellemare, conversation téléphonique, 2020, 22 juin) récolte une des pires notes du palmarès, soit 20 %. Le jury du quotidien a relevé l'asphalte craquelé et très peu de verdure offrant peu d'ombrage aux enfants.

Le quadrilatère est délimité par l'avenue Barclay au sud, l'avenue Victoria à l'est et la rue Vézina au nord. Un stationnement séparant les jeux d'eau du parc Nelson-Mandela à un terrain multisport se trouve à l'ouest. Un petit tronçon de la rue Lemieux se trouve également à la limite ouest (figure 5.3). Au coin sud-est du quadrilatère, un immeuble abrite une soixantaine de logements sociaux et les locaux d'organismes communautaires desservant une clientèle aînée et immigrante.

Côte-des-Neiges-Notre-Dame-de-Grâce est l'arrondissement multiethnique par excellence à Montréal. Pas moins de 77 % des résidents sont soit nés à l'étranger ou nés d'au moins un parent de nationalité étrangère. La population y est dense, avec 7 766,8 habitants par kilomètre carré, ce qui le situe devant Ville-Marie (5 397,7 habitants/km²) mais derrière Villeray-Saint-Michel-Parc-Extension (8 723,7 habitants/km²). Sa population n'est pas la plus fortunée de l'île : le revenu annuel médian est de 24 687 \$ par personne. (Ville de Montréal, 2018c)

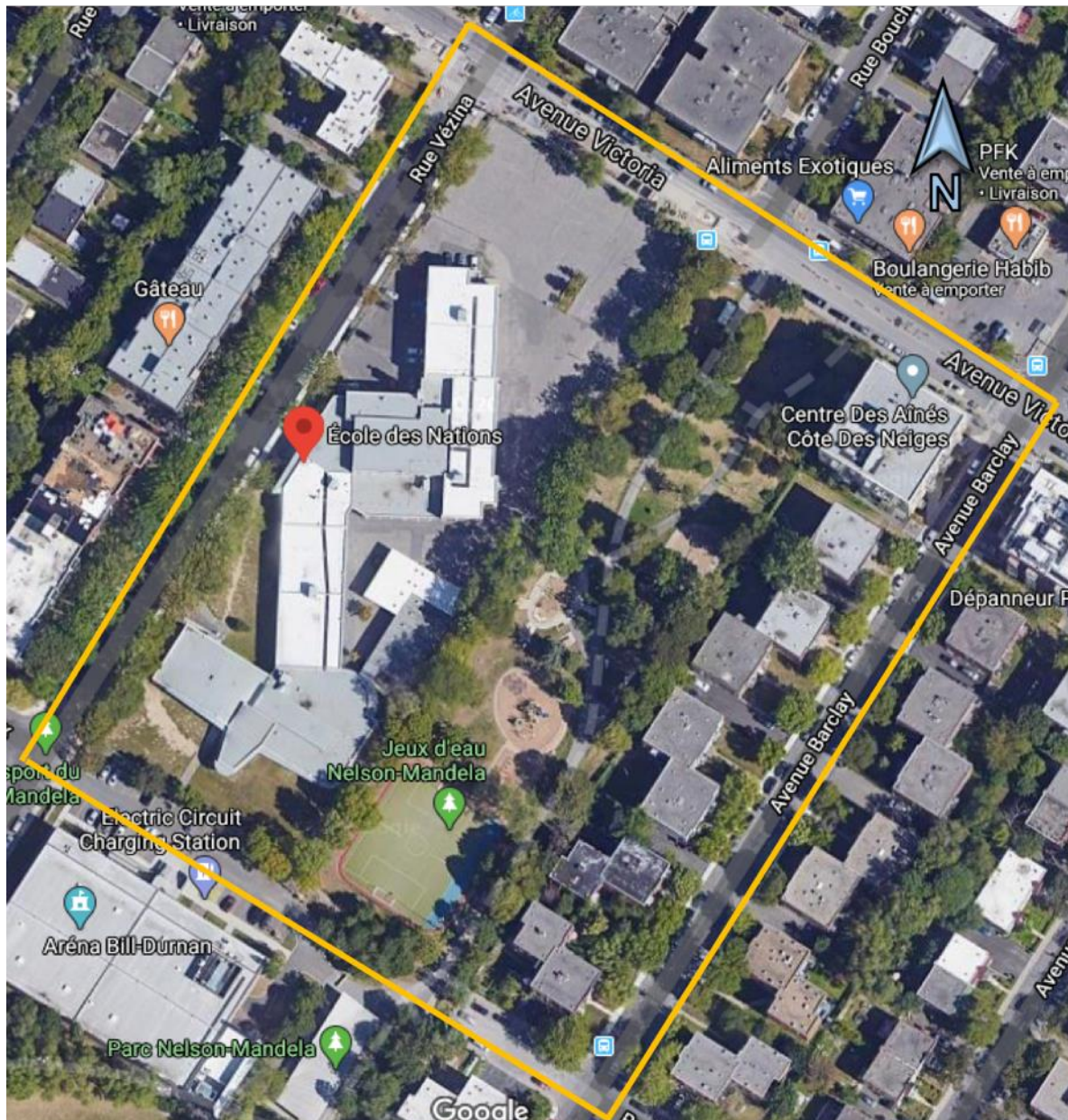


Figure 5.3 Délimitation du quadrilatère des Nations (Image créée à partir de Google Maps)

5.2 Conception de la grille d'analyse

Le principal objectif de l'analyse est de développer une grille multicritère qui permettra de comparer la vulnérabilité des trois quadrilatères face aux ICU et aux surverses. Le concept de vulnérabilité est généralement conçu comme l'opposé de la résilience dans la littérature scientifique (Cariolet et al., 2019) et cette optique est également adoptée ici. Une revue des indices de résilience et de vulnérabilité existants a été effectuée pour évaluer si certains critères (ou indicateurs) d'évaluation peuvent être utiles pour la présente analyse. Force est de constater que la grande majorité s'intéresse à la résilience globale et systémique d'une ville ou d'une région. Ils peuvent autant mesurer la gouvernance, la sécurité alimentaire, l'interconnectivité communautaire, la santé économique, la

capacité énergétique et la qualité du milieu bâti que l'occurrence de désastres climatiques. Par exemple, l'indice *Food Energy Water (FEW) Nexus* évalue l'interaction entre les infrastructures ou systèmes permettant l'approvisionnement de l'eau, de l'énergie et de l'alimentation dans une ville (Schlör et al., 2018). Ces indices ne seront donc pas utilisés pour le présent essai puisqu'ils ont été conçus pour mesurer la résilience globale à l'échelle municipale et non locale.

Les critères de vulnérabilité seront développés à partir des facteurs causaux prédominants dans l'occurrence des ICU et des surverses, comme il a été expliqué au second chapitre, et à l'aide de données géoréférencées disponibles en ligne. Suite à l'évaluation, le quadrilatère présentant la plus grande vulnérabilité sera choisi afin de rehausser sa résilience climatique à l'aide des recommandations présentées à la fin de l'essai.

5.2.1 Critères de la grille d'analyse

L'auteure souhaite développer une grille reproductible pour le plus grand nombre d'acteurs municipaux. Il est donc de mise d'utiliser les critères les plus pertinents et de développer une méthode d'évaluation à l'aide de données secondaires et d'outils facilement accessibles. Il existe au Québec d'importantes banques de cartes numériques offrant des données géoréférencées accessibles aux internautes. Les critères seront analysés en partie à l'aide de ces banques de données ouvertes, principalement le Portail des données ouvertes de la Ville de Montréal et son équivalent provincial, Données Québec. Une autre partie des critères sera évaluée à l'aide du service de cartographie en ligne Google Maps.

Les critères ont été choisis en fonction de leur capacité à prévoir ou à confirmer la présence d'une vulnérabilité climatique. Par exemple, la théorie sur les ICU suggère que la morphologie structurelle d'un territoire est un fort indicateur de la formation de canyons d'air chaud. Il s'agit donc d'un critère important à retenir. L'INSPQ produit également une carte proposant un indice de température de surface. Ce critère sera également sélectionné pour la grille. Puisque le critère sur la morphologie structurelle tient compte du réchauffement de l'air entre les bâtiments, et que celui inspiré de l'indice de l'INSPQ propose une lecture du réchauffement au sol, il est pertinent d'inclure ces deux critères afin d'augmenter le niveau de précision.

Le tableau 5.1 présente donc les critères à partir desquels les trois quadrilatères seront évalués. Ils ont été divisés en deux catégories; la première sert à mesurer la vulnérabilité territoriale, la seconde la vulnérabilité sociale. Dans cet essai, la vulnérabilité territoriale fait référence à l'ensemble des composants du territoire, alors que la vulnérabilité sociale prend seulement en compte la sensibilité de la population locale, en fonction de son profil socioéconomique et de sa proximité à des ilots de fraîcheur.

Le tableau présente également le ou les enjeux que les critères servent à mesurer, une justification, une référence, l'outil qui permettra d'extraire les données et l'indice de mesure. Les critères qui relèvent de la vulnérabilité territoriale (critères 1 à 6) ont été distingués de ceux qui se rapportent à la vulnérabilité sociale (critères 7 à 10). Il est à noter que plusieurs critères, tels que l'absence de végétation, ont un impact autant sur l'occurrence d'ICU que de surverses. Les indices de mesure se baseront soit sur des indices existants ou des indices construits pour les besoins de cette analyse. Les indices seront conçus pour que le pointage augmente en fonction de la vulnérabilité. Ainsi, le quadrilatère obtenant la plus haute note sera le plus vulnérable. Le service de cartographie Google Maps propose un outil pour mesurer des surfaces, ce qui offre une flexibilité intéressante pour créer des critères basés sur la superficie. Les calculs et les détails de la méthodologie se trouvent à l'annexe 1.

Tableau 5.1 Grille d'évaluation multicritère de la vulnérabilité face aux îlots de chaleur urbains et aux surverses

Critères	Enjeu(x)	Justification	Référence(s)	Outil/banque de données	Indice de mesure
VULNÉRABILITÉ TERRITORIALE					
1. Absence de végétation	ICU/ surverses	Les espaces naturels sont de puissants agents de refroidissement de l'air grâce aux cycles d'évapotranspiration. La végétation haute est plus performante que la végétation basse à ce titre. Un seul grand arbre peut relâcher jusqu'à 450 l d'eau en une journée. La végétation haute intercepte également davantage les eaux pluviales, diminuant ainsi les volumes des eaux de ruissellement.	(Anquez et Herlem, 2011) (Dupras, Francoeur, Dagenais et Messier, 2018) (SQP, 2018)	Carte de l'indice canopée métropolitain de la Communauté métropolitaine de Montréal (CMM). Les données géoréférencées portent sur la proportion de la superficie de végétation haute (\geq à 3 m), basse ($<$ à 3 m), la surface minéralisée haute (\geq à 3 m) et basse ($<$ à 3 m). (CMM, 2019a)	La proportion de la superficie non végétalisée sera calculée après pondération pour mesurer l'impact de l'absence d'aires de rafraîchissement et d'interception d'eaux. Un ratio sera produit à partir de la proportion non végétalisée (plus lourdement pondérée pour l'absence de végétation haute).
2. Indice de température de surface	ICU	Ce critère permet d'identifier les lieux de formation d'ICU due à la température de surface.	(Institut national de santé publique du Québec [INSPQ], s.d.)	Carte de l'INSPQ de la température de surface. Dix niveaux de température allant de 1 (îlot de fraîcheur le plus frais) à 10 (ICU le plus chaud). (INSPQ et Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy, 2012)	L'indice moyen de température de surface pour chaque quadrilatère sera produit à l'aide d'un système d'information géographique.

Tableau 5.1 Grille d'évaluation multicritère de la vulnérabilité face aux îlots de chaleur urbains et aux surverses (suite)

Critères	Enjeu(x)	Justification	Référence(s)	Outil/banque de données	Indice de mesure
VULNÉRABILITÉ TERRITORIALE					
3. Sensibilité physique aux pluies abondantes	Surverses	Les pluies abondantes et l'urbanisation contribuent à l'enjeu des surverses. La minéralisation d'une zone entraîne l'imperméabilisation du sol, et donc l'accumulation d'eaux de ruissellement plutôt que leur infiltration. Ainsi, seulement 10 % des eaux pluviales sont ruisselées en milieu boisé, en comparaison à 75 % sur un site fortement urbanisé.	(Jalliffier-Verne et al., 2015) (Salerno et al., 2018) (SPQ, 2018) (Mailhot, Bolduc, Talbot et Khedhaouira, 2014)	Carte 5.4 du Plan d'adaptation aux changements climatiques de l'agglomération de Montréal 2015-2020 présentant les zones de ruissellement excessif sur l'île. (Ville de Montréal, 2017)	La proportion des zones à risque d'accumulation d'eaux de ruissellement sera obtenue pour chaque quadrilatère à partir des données ouvertes géoréférencées de la Ville de Montréal.
4. Densité des surfaces minérales	ICU	La morphologie structurelle d'un milieu bâti a un fort impact sur la formation de canyons d'air chaud. Un des paramètres qui permet de prévoir leur formation est la hauteur des bâtiments; plus ils seront élevés, moins la chaleur pourra s'échapper la nuit venue.	(Wei et al., 2016) (Shaker et al., 2019)	Carte de l'indice canopée métropolitain de la CMM. Les données géoréférencées portent sur la proportion de la superficie de végétation haute (≥ 3 m), basse (< 3 m), la surface minéralisée haute (≥ 3 m) et basse (< 3 m). (CMM, 2019a)	Un indice de mesure sera créé à partir des proportions des surfaces minéralisées basses et hautes de chaque quadrilatère. Les proportions des surfaces hautes seront pondérées avec un coefficient de 3. Le raisonnement est que ces trois quadrilatères sont principalement résidentiels et constitués de bâtiments de trois étages. Les surfaces basses conserveront leur proportion initiale.

Tableau 5.1 Grille d'évaluation multicritère de la vulnérabilité face aux îlots de chaleur urbains et aux surverses (suite)

Critères	Enjeu(x)	Justification	Référence(s)	Outil/banque de données	Indice de mesure
VULNÉRABILITÉ TERRITORIALE					
5. Albédo des toits	ICU	Les matériaux de revêtement des toits peuvent contribuer à la formation d'ICU s'ils présentent un faible albédo, c'est-à-dire un faible pouvoir de réfléchir les rayons de soleil.	(Environnement Canada, 2010) (Anquez et Herlem, 2011)	Google Maps (outil « mesurer une distance »).	La proportion de la superficie des toits blancs, des toits gris et des toits noirs. Les toits noirs seront plus lourdement pondérés pour refléter leur contribution à la formation d'ICU.
6. Indice de réchauffement de l'air par les voitures	ICU	Les voitures à essence contribuent au réchauffement de l'air, et donc à la formation de canyons d'air chaud. Chaque voiture réchauffe autant que six radiateurs électriques en marche pendant 15 minutes par 1,6 km parcouru.	(Li et al., 2015)	Google Maps (outil « mesurer une distance »).	Un ratio de réchauffement sera créé à partir de la superficie des rues réservées aux voitures dans chaque quadrilatère. Les superficies seront multipliées par le nombre de voies puisqu'un nombre plus grand de voies augmente le potentiel de réchauffement dû à la circulation routière. La superficie pondérée sera par la suite divisée par la superficie réelle. Plus le ratio sera élevé, plus le potentiel de réchauffement sera élevé.

Tableau 5.1 Grille d'évaluation multicritère de la vulnérabilité face aux îlots de chaleur urbains et aux surverses (suite)

Critères	Enjeu(x)	Justification	Référence(s)	Outils/banque de données	Indice de mesure
VULNÉRABILITÉ SOCIALE					
7. Service de résilience du quadrilatère au quartier	ICU/ Surverses	Ce critère permet d'évaluer si les quadrilatères offrent des services écologiques de rafraîchissement et d'interception d'eaux pluviales au reste du quartier. Une zone tampon de 300 m autour du quadrilatère servira de point de comparaison. Cette méthodologie s'inspire de l'Organisation mondiale de la Santé qui recommande une distance maximale de 300 m à un parc.	(NSPQ, 2017)	Cartographie de l'indice canopée métropolitain de la CMM. (CMM, 2019a)	Un ratio sera calculé entre la proportion de la superficie végétalisée du quadrilatère et celle d'une zone tampon de 300 m. Plus le ratio sera élevé, plus le quadrilatère sera considéré comme un îlot de résilience utile à la population vulnérable du quartier.
8. Présence de groupes d'âge vulnérables	ICU	Les études démontrent que les différents groupes socioéconomiques ne sont pas affectés de la même façon par les canicules. Les enfants et les personnes âgées font partie des groupes les plus vulnérables. Les personnes de plus de 65 ans seraient plus à risque de mourir, notamment à cause de préconditions médicales. Selon une étude américaine, le taux de mortalité chez les personnes de plus de 65 ans serait proportionnellement sept fois plus important que pour les jeunes de moins de 17 ans (voir Annexe 1).	(Environnement Canada, 2010) (Lehnert et al., 2020)	Données secondaires sur les écoles; informations sur Google Maps; entrevues.	Les quadrilatères seront notés en fonction de la vulnérabilité sociale liée à l'âge. Selon une étude américaine, les aînés de 65 ans et plus sont près de sept fois plus à risque de mourir d'un choc thermique que les jeunes de moins de 17 ans. Afin de refléter leur plus grande vulnérabilité (et donc la vulnérabilité sociale des quadrilatères), le nombre de personnes âgées sera pondéré en fonction des résultats de cette étude.

Tableau 5.1 Grille d'évaluation multicritère de la vulnérabilité face aux ilots de chaleur urbains et aux surverses (suite et fin)

Critères	Enjeu(x)	Justification	Référence(s)	Outils/banque de données	Indice de mesure
VULNÉRABILITÉ SOCIALE					
9. Indice de défavorisation (vulnérabilité socio-économique)	ICU	L'objectif de ce critère est de prendre en compte le contexte socioéconomique du quadrilatère. Les études démontrent que les groupes défavorisés ont davantage tendance à habiter dans des ICU. Ce critère permettra donc d'accorder un poids supplémentaire au quadrilatère le plus défavorisé dans la notation.	(Apparicio et al., 2016)	Une carte sur l'indice de défavorisation sur le portail de Données Québec permettra d'évaluer les trois sites en fonction de la situation socioéconomique dominante de la population locale. Elle propose cinq niveaux de défavorisation basés sur le revenu familial, le niveau de scolarité, la situation d'emploi et la situation familiale. (INSPQ, 2016)	Un niveau moyen de défavorisation, de 1 à 5, sera établi pour chaque quadrilatère en fonction de la carte. Plus il sera élevé, plus le quadrilatère sera considéré comme vulnérable aux enjeux climatiques.
10. Distance au parc le plus près	ICU	Les parcs offrent des ilots de fraîcheur naturels aux populations lors des vagues de chaleur. Plus les habitants d'un quadrilatère seront éloignés d'un parc, plus ils seront vulnérables à la chaleur extrême.	(INSPQ, 2009)	Google Maps (outil « mesurer une distance »).	Distance entre le centre du quadrilatère et l'orée du parc le plus près.

5.2.2 Observations et limites

Certains critères et outils qui avaient été présélectionnés sur la base de fondements théoriques ou d'évaluations *a priori* ont finalement été écartés de l'étude parce qu'ils étaient redondants avec d'autres indices existants et plus précis. Premièrement, un critère portant sur la superficie totale des stationnements hors rue, des cours d'école et des stations d'essence avait été élaboré. Cette opération aurait permis de déterminer lequel des quadrilatères était plus vulnérable en fonction de la minéralisation de sa surface, puisqu'il a été expliqué dans le chapitre 2 qu'il y a une forte corrélation entre l'urbanisation et l'occurrence d'ICU et de surverses. Or, il existe déjà des données géoréférencées qui ont permis de produire des cartes sur l'indice de température des surfaces et la sensibilité physique aux pluies abondantes à Montréal. Le critère sur les surfaces minérales a donc été abandonné pour retenir les données secondaires géoréférencées existantes et plus précises. Il s'agit cependant d'un exercice à considérer (et facile à exécuter) lorsque des données géoréférencées ne sont pas disponibles.

Deuxièmement, en ce qui concerne le critère sur la morphologie structurelle, il avait été envisagé d'utiliser comme outil la carte sur la densité de construction du Plan d'urbanisme de la Ville de Montréal. Un des paramètres de cette carte étant le nombre d'étages des bâtiments, elle semblait un bon outil pour prévoir la formation de canyons de chaleur urbains en fonction des niveaux de densité répertoriés par la Ville. L'exercice s'est avéré peu concluant puisque les trois quadrilatères présentaient un niveau de densité très similaire qui ne permettait pas de les démarquer, probablement à cause de leur caractère résidentiel. Un autre enjeu était la méthodologie de la Ville, qui n'avait pas fait de distinction entre la densité actuelle du milieu bâti et sa densité souhaitée pour produire cette carte. (Ville de Montréal, 2020b) Les valeurs obtenues à partir de cette carte ont donc été rejetées.

La consultation de la carte sur la densité de construction a tout de même été utile pour pondérer l'indice qui l'a remplacée, soit la densité des surfaces minérales basée sur la carte du taux de canopée de la CMM. Les données sur les surfaces minérales basses et hautes ont été utilisées au lieu de l'indice du Plan d'urbanisme. Puisque ce dernier a révélé que les trois quadrilatères avaient une densité similaire, les proportions des surfaces minérales hautes des trois sites ont été pondérées avec le même coefficient, tel qu'il a été expliqué au tableau 5.1 (quatrième critère sur la densité des surfaces minérales). Le critère sur la densité aurait pu être remplacé par une mesure plus sophistiquée du facteur de vue du ciel (*sky view factor*), tel qu'expliqué à la section 2.1.1. Néanmoins, cette approche requiert un appareil photo muni d'un objectif *fish eye* afin de reconstruire un modèle 3D du

quadrilatère. Cette option devrait être considérée par les municipalités jouissant des ressources technologiques et humaines nécessaires.

Une autre limite de la grille qui s'impose est qu'elle comporte beaucoup moins de critères liés aux surverses qu'aux ICU. Il y a un déficit général de données sur cet enjeu à Montréal. D'abord, les cartes de la Ville identifient les zones à risque d'inondations localisées liées à un ruissellement excessif (figure 5.4). Il n'existe pas de carte équivalente pour l'enjeu des surverses, c'est-à-dire une carte qui identifierait les zones critiques en amont des ouvrages de surverses problématiques, semblable à ce que la Ville de New York a produit (voir la figure 4.4 à la section 4.4). Il manque également des données topographiques à l'échelle des quartiers qui permettraient d'établir des corrélations entre les caractéristiques sur le terrain (relief, hydrographie, points d'entrée du réseau d'égout, présences d'infrastructures naturelles, etc.) et l'activité des ouvrages de surverses. Une meilleure connaissance des facteurs causals est nécessaire en amont. Enfin, des statistiques importantes (volumes des surverses, qualité de l'eau rejetée, etc.) spécifiques à la situation montréalaise manquent au portrait.

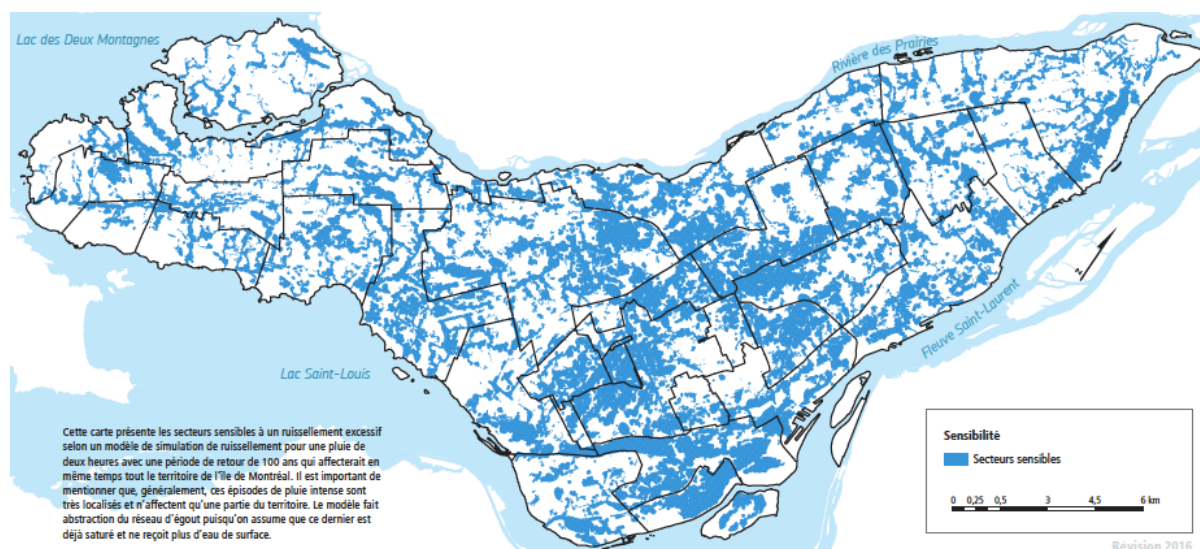


Figure 5.4 Carte identifiant les secteurs exposés aux inondations causées par le ruissellement excessif (Tiré de : Ville de Montréal, 2017a)

Il est à noter que les critères de vulnérabilité sociale sont associés uniquement aux ICU car leurs effets sont immédiats et peuvent être mortels, contrairement aux surverses dont les effets sur la santé humaine sont moins critiques et se manifestent à plus long terme. Ce dernier point permet de comprendre qu'une analyse portant uniquement sur la vulnérabilité sociale face aux changements climatiques pourrait négliger des enjeux importants dont les répercussions sur la santé humaine sont indirectes et cumulatives ou dont les impacts sont d'abord visibles sur la biodiversité.

5.2.3 Pondération et notation

Les critères détaillés et commentés ci-dessus n'ont pas tous le même rapport causal aux enjeux climatiques ni le même degré de prévision. Il est nécessaire de relativiser leur importance à l'aide d'une pondération. Celle-ci permettra d'accorder plus de poids aux critères qui ont un lien causal plus direct sur l'occurrence d'ICU et de surverses, et l'inverse pour les critères dont le lien causal est moins immédiat. Pour déterminer l'attribution des coefficients de pondération aux critères, des lignes directrices permettant d'évaluer leur importance ont été développées. Le tableau 5.2 présente ces lignes directrices, ainsi que les coefficients et les critères qui leur sont associés.

Tableau 5.2 Détermination des coefficients de pondération des critères

Nature du critère	Coefficient de pondération	Sélection des critères
Il permet de prévoir l'apparition autant des ICU que des surverses	2	1. Absence de végétation
Il s'appuie sur un outil de mesure fiable servant à repérer la présence d'un des enjeux	2	2. Indice de température de surface 3. Sensibilité physique aux pluies abondantes
Il évalue un des facteurs favorisant l'occurrence d'une vulnérabilité climatique (ICU ou surverses)	1	4. Densité des surfaces minérales 5. Albédo des toits 6. Indice de réchauffement de l'air par les voitures
Il permet d'évaluer la vulnérabilité sociale des résidents	1	7. Service de résilience du quadrilatère au quartier 8. Présence de groupes d'âge vulnérables 9. Indice de défavorisation 10. Distance au parc le plus près

Cette pondération attribue un plus grand poids à la vulnérabilité territoriale qu'à la vulnérabilité sociale. Ce choix méthodologique part du constat que les populations vulnérables résident généralement dans des zones à risque face aux aléas climatiques. La vulnérabilité territoriale a donc tendance à contenir la vulnérabilité sociale (Apparicio et al., 2016). Les critères de vulnérabilité sociale serviront à identifier les endroits plus critiques où une intervention permettrait d'alléger un plus grand nombre de personnes à court et moyen terme.

Le système de notation doit permettre de ramener sur une échelle de 0 à 1 des valeurs de différents types, 0 représentant la résilience optimale et 1, une vulnérabilité extrême. Cela comporte quelques défis. En effet, certains critères produiront des pourcentages alors que d'autres produiront un indice ou une valeur métrique. En outre, la valeur optimale pour certains n'est pas prédéfinie, ou encore

difficile à établir, comme le sixième critère sur l'indice de réchauffement de l'air par les voitures. D'autres critères ne permettent pas d'obtenir une valeur nulle qui correspondrait naturellement à une note de 0, tels que celui sur la distance au parc le plus près.

Pour remédier à ces défis, les valeurs seront normalisées sur une échelle de 0 à 1. La valeur la plus élevée récoltera la note de 1, celle la plus basse recevra la note de 0. La valeur qui ne sera ni la plus haute ni la plus basse sera distribuée sur l'échelle de façon proportionnelle. Ainsi, les valeurs seront uniformisées, donc comparables. Les quadrilatères seront comparés plutôt qu'évalués par rapport à une performance optimale (ou médiocre). Cette méthodologie entraîne une polarisation des résultats; c'est un compromis acceptable pour pouvoir comparer les quadrilatères entre eux et identifier le plus vulnérable. L'équation suivante sera utilisée pour chaque série de valeurs par critère :

$$\text{Note} = \frac{\text{valeur} - \text{valeur minimale}}{\text{valeur maximale} - \text{valeur minimale}}$$

Cette équation permettra de distribuer les valeurs sur une échelle de 0 à 1.

5.3 Résultats

Des valeurs ont été produites pour chaque quadrilatère grâce aux outils répertoriés dans le tableau 5.1 et aux calculs nécessaires. La procédure et les calculs sont détaillés à l'annexe 1. Le tableau suivant présente les notes cumulatives des quadrilatères. Il est suivi d'une interprétation des résultats.

Tableau 5.3 Résultats de l'évaluation pondérée des quadrilatères sur une échelle de 0 à 1 pour l'ensemble des critères

Critères	Pondération	Saint-Anselme		Saint-Gabriel-Lalemant		Des Nations	
		Note	Note pondérée	Note	Note pondérée	Note	Note pondérée
1. Absence de végétation	2	1,00	2,00	0,81	1,62	0	0
2. Indice de température de surface	2	1,00	2,00	0,86	1,72	0	0
3. Sensibilité aux pluies abondantes	2	0,22	0,44	1,00	2,00	0	0
4. Densité des surfaces minérales	1	1,00	1,00	0,69	0,69	0	0
5. Albédo des toits	1	0,98	0,98	0	0	1,00	1,00

Tableau 5.3 Résultats de l'évaluation pondérée des quadrilatères sur une échelle de 0 à 1 pour l'ensemble des critères (suite et fin)

Critères	Pondération	Saint-Anselme		Saint-Gabriel-Lalemant		Des Nations	
		Note	Note pondérée	Note	Note pondérée	Note	Note pondérée
6. Indice de réchauffement de l'air	1	0,70	0,70	0	0	1,00	1,00
7. Service de résilience du quadrilatère au quartier	1	0,13	0,13	0	0	1,00	1,00
8. Présence de groupes d'âge vulnérables	1	1,00	1,00	0	0	0,41	0,41
9. Indice de défavorisation	1	0,5	0,50	0	0	1,00	1,00
10. Distance au parc	1	0,12	0,12	0	0	1,00	1,00
TOTAL			8,87/13,00		6,03/13,00		5,41/13,00

Le quadrilatère Saint-Anselme s'avère le plus vulnérable aux ICU et aux surverses selon l'analyse. Sa vulnérabilité territoriale est la plus critique des trois, principalement parce qu'il est le moins végétalisé et le plus densément minéralisé. En effet, bien que ses surfaces minérales basses soient en plus faible proportion en comparaison aux autres quadrilatères, il comporte davantage de surfaces minérales hautes, qui étaient plus hautement pondérées. Il est donc cohérent qu'il ait obtenu le plus haut indice de température selon les données géoréférencées de l'INSPQ. Il s'est également avéré le site abritant le plus de personnes d'âge vulnérables, surtout grâce à la présence d'une résidence pour personnes âgées, un groupe lourdement pondéré dans la grille multicritère. Globalement, il est arrivé au premier ou second rang pour tous les critères. Autrement dit, il ne s'est avéré le plus résilient pour aucun des critères. Avec une note globale de 8,87 sur 13,00, soit près de 50 % de plus que le quadrilatère Saint-Gabriel-Lalemant en seconde position, il ne fait aucun doute que le quadrilatère Saint-Anselme est celui qui nécessite un aménagement plus résilient.

Le quadrilatère Saint-Gabriel-Lalemant présente une certaine vulnérabilité, principalement face aux surverses. Il est arrivé au second rang pour les critères de densité minérale, d'indice de température de surface et d'absence de végétation. Cependant, il comporte la plus grande superficie de toits blancs et l'indice le plus faible de réchauffement des voies routières, à cause des rues à une ou deux voies

qui le quadrillent. Enfin, sa population s'est avérée moins vulnérable que celle des deux autres sites. Le quadrilatère des Nations, en troisième position dans l'évaluation globale, est d'intérêt principalement pour la vulnérabilité de sa population. Il a reçu la note la plus élevée pour tous les critères de vulnérabilité sociale, sauf celui lié à l'âge. Sa vulnérabilité territoriale est moindre cependant puisqu'il chevauche le parc Nelson-Mandela. Mis à part le faible albédo de ses toits et le fort indice de réchauffement de ses voies routières, il est nettement plus résilient grâce à son couvert végétal important.

Enfin, il est important de reconnaître que les résultats auraient pu varier en fonction des choix méthodologiques. Par exemple, la grille aurait pu comporter uniquement des critères de vulnérabilité sociale si l'objectif convoité avait été de réduire les incidences de morbidité et de mortalité. Ou encore, une pondération plus lourde leur aurait été attribuée. En guise d'illustration, si le coefficient de pondération pour tous les critères de vulnérabilité sociale avait été de 2, et que celui rattaché aux critères de vulnérabilité territoriale avait été ramené à 1, le quadrilatère des Nations aurait obtenu la note plus élevée avec 8,82. Auraient suivi le quadrilatère Saint-Anselme avec une note de 7,40, puis Saint-Gabriel-Lalemant avec 2,36. Cette approche n'a pas été choisie pour les raisons évoquées plus haut. En somme, l'auteure adhère à une définition du développement durable qui reconnaît les écosystèmes comme les piliers des sphères économique et sociale; ces dernières sont tributaires de la sphère environnementale. En s'attaquant à la vulnérabilité d'un territoire, c'est toute la population locale qui bénéficie d'un milieu de vie plus résilient. La vulnérabilité sociale est néanmoins une dimension importante pour identifier les secteurs prioritaires d'intervention.

6. RECOMMANDATIONS

Les résultats de l'analyse des vulnérabilités territoriale et sociale permettent maintenant de formuler des recommandations. Tous les leviers et outils municipaux seront explorés, de la réglementation à la participation citoyenne en passant par l'aménagement urbain. Les recommandations sont présentées dans une progression logique allant de l'échelle micro à l'échelle macro. Le chapitre s'ouvre donc sur des recommandations spécifiques au quadrilatère Saint-Anselme à l'attention de l'arrondissement Ville-Marie. Viendront en seconde partie du chapitre des propositions de mesures structurantes à l'échelle de la Ville de Montréal qui outilleraient -et encourageraient- tous les acteurs municipaux, dont les arrondissements, dans leurs efforts de résilience. Dans un contexte de gouvernance partagée, le contexte réglementaire et politique de la Ville doit appuyer la volonté des arrondissements de rendre leur territoire plus résilient.

6.1 Recommandations spécifiques au quadrilatère Saint-Anselme

- Recommandation 1 : Aménager la rue de Rouen en corridor de fraîcheur grâce à un apaisement de la circulation routière, la plantation d'arbres et l'ajout de pistes cyclables (figure 6.1).
 - Objectif : Réduire le réchauffement de l'air et la charge d'eaux pluviales dans l'égout unitaire.

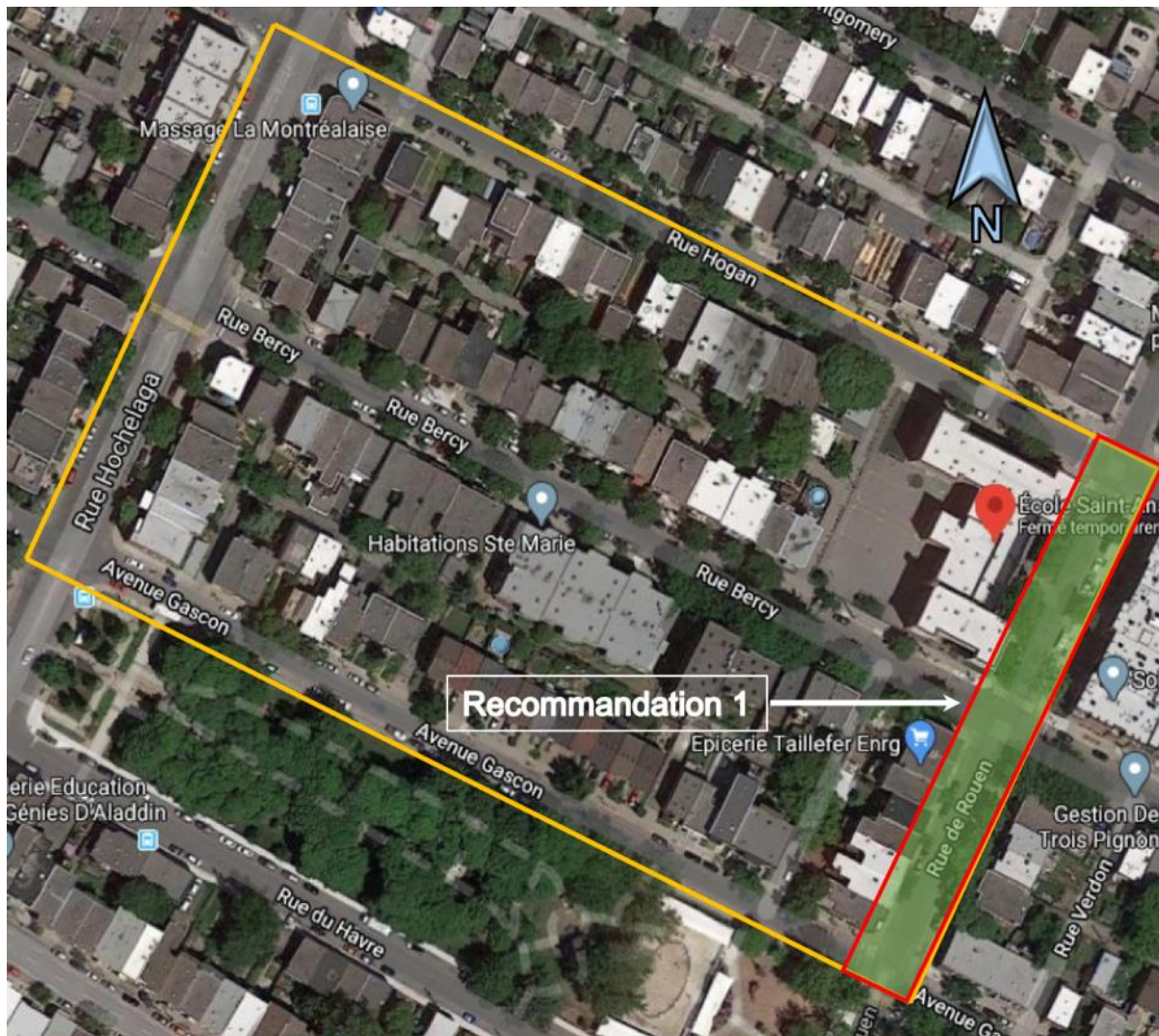


Figure 6.1 Localisation de la recommandation 1 sur la rue de Rouen (Dimensions du quadrilatère : 154 m X 260 m)

La rue de Rouen se prêterait bien à la création d'un corridor de fraîcheur pour plusieurs raisons. D'abord parce que l'école Saint-Anselme a pignon sur cette rue; le retour à la maison des écoliers pourrait devenir sécuritaire et confortable même en temps de canicule. Ensuite, parce qu'il s'agit d'une rue principalement résidentielle interrompue par le parc Médéric-Martin à l'ouest du quadrilatère Saint-Anselme. D'autres parcs longent cette rue, tels que le parc Raymond-Préfontaine à l'est et les parcs Walter-Stuart et des Royaux à l'ouest. Sa conversion en corridor de fraîcheur serait donc pertinente au-delà du site à l'étude. D'ailleurs, elle a été temporairement piétonnisée (sauf pour la circulation routière locale) à l'été 2020 par l'arrondissement pour faciliter le transport actif durant la pandémie (Ville-Marie, 2020b). Cette rue comprend deux voies de circulation bidirectionnelles de quatre mètres de largeur chacune, et deux voies de stationnement de deux mètres de largeur. Elle a donc 12 m de largeur au total entièrement réservés aux automobilistes. C'est une superficie excessive

pour la circulation routière, d'autant plus qu'elle est parallèle à la rue Hochelaga au nord, une rue de transit très passante de quatre voies routières où circulent des autobus. De par sa nature, son emplacement et les habitants qui la fréquentent, la rue de Rouen n'a pas besoin de deux voies de circulation.

La première étape pour transformer la rue est de réduire le nombre de voies de circulation à une seule. La voie unique devrait être en direction est afin d'éloigner le trafic du parc Médéric-Martin, à la limite ouest du quadrilatère. En outre, les voitures peuvent déjà circuler en direction ouest sur les rues Hochelaga au nord et Ontario au sud. La reconfiguration proposée ici empêcherait les automobilistes peu familiers au quartier d'aboutir par erreur devant le parc. Pour le moment, la rue octroie quatre mètres par voie aux voitures. C'est beaucoup trop. De récentes études ont démontré que plus les voies de circulation sont larges, plus la vitesse des automobilistes augmente tout comme le nombre de collisions (Jaffe, 2015). La largeur d'une voie a donc un fort impact sur la sécurité des piétons et cyclistes. Le père des super ilots Salvador Rueda a aménagé des voies de 2,5 m pour permettre aux véhicules de traverser les nouveaux quartiers de Barcelone (S. Rueda, conversation, 3 mars 2020). Pour sa part, Janette Sadik-Khan, ancienne commissaire aux transports de la Ville de New York, recommande une largeur maximale de trois mètres (Sadik-Khan et Solomonow, 2016). Ce modèle est retenu ici puisqu'il partage le même contexte nord-américain. Cette largeur permettrait aussi la circulation d'autobus scolaires.

Une dernière étape importante pour apaiser la circulation est d'abolir les deux voies de stationnement qui occupent environ deux mètres en bordure des trottoirs. Il est reconnu que les stationnements de destination génèrent du trafic. Considérant que l'offre de stationnements est abondante dans le secteur, notamment sur les petites rues transversales Gascon, Bercy et Hogan, le retrait de ces deux voies aurait peu d'impact pour les résidents automobilistes. L'idée est de rééquilibrer le partage de l'espace dans le quadrilatère. Des experts sur la mobilité durable jugent que l'offre en stationnement est excessive à Montréal, où plus de 20 % de l'espace public leur est alloué (Goudreault, 4 décembre 2019). Selon plusieurs études, dont une pilotée par le Conseil Régional de l'Environnement de Montréal, l'abondance de cases de stationnement encourage l'utilisation de la voiture (Conseil Régional de l'Environnement - Montréal, 2017).

Avec seulement une voie de trois mètres pour la circulation routière sur la rue de Rouen et aucune voie de stationnement, pas moins de neuf mètres seraient libérés pour le verdissement et le transport actif. L'auteure recommande de rajouter deux pistes cyclables bidirectionnelles (une vers l'est et une vers l'ouest) de deux mètres chacune en bordure des trottoirs. Ces pistes cyclables seraient protégées de la voie routière par deux bandes de fosses d'arbres continues et drainantes de 2,5 m de largeur.

Cette option éviterait l'ajout de bollards, moins sécuritaires et esthétiques qu'une rangée d'arbres, et optimiserait ainsi l'espace pour le verdissement et le transport actif. Les saillies de trottoirs aux intersections devraient toutefois être retirées afin de permettre la libre circulation des cyclistes.

L'ajout de fosses d'arbres élargies dotées d'un système de collecte des eaux pluviales (des entrées permettant de recueillir l'eau de la rue et de la piste cyclable) permettrait de soulager le réseau d'égout unitaire. Elle permettrait aussi d'optimiser le rafraîchissement des écoliers, piétons et cyclistes, ainsi que des résidences adjacentes aux trottoirs. L'arrondissement Ville-Marie pourrait s'inspirer des fosses continues drainantes que la Ville de Vancouver a aménagées dans le cadre de sa stratégie de résilience face aux pluies abondantes (voir figure 6.2). Celles-ci intègrent des structures cellulaires sous les trottoirs afin de favoriser le développement racinaire des arbres. (Ville de Vancouver, 2019b)

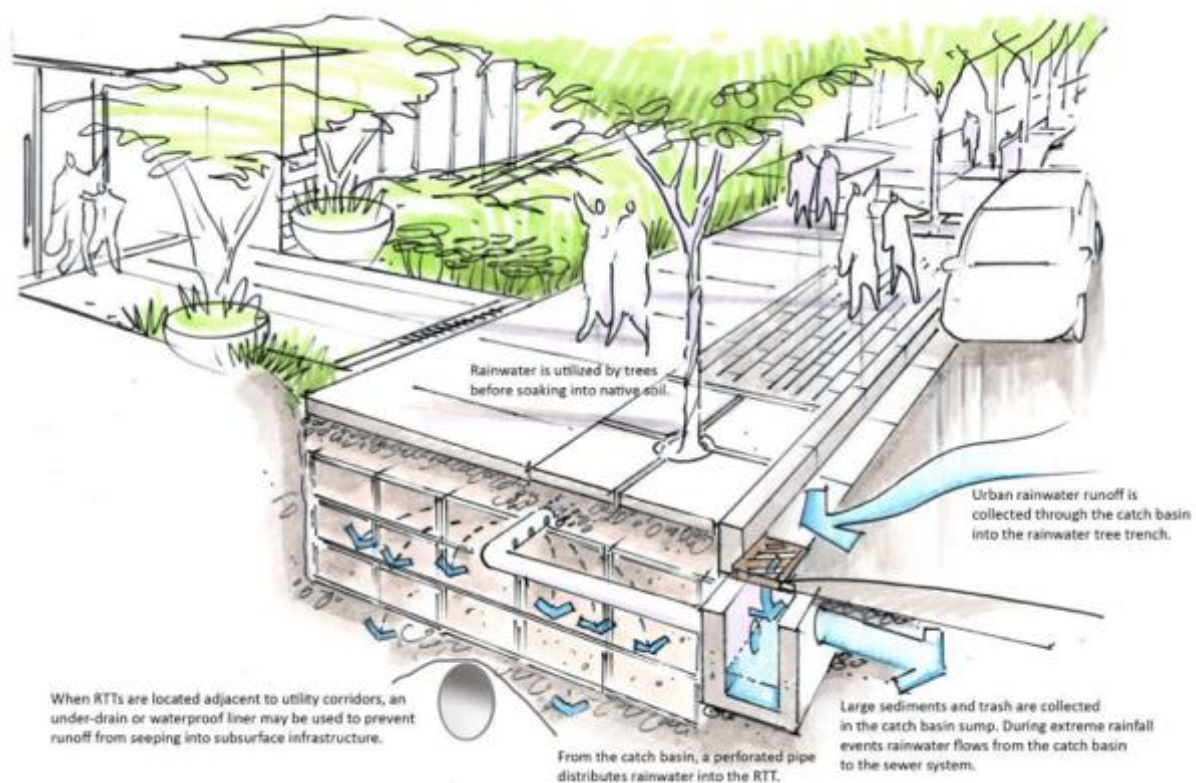


Figure 6.2 Illustration d'un système de drainage des fosses d'arbres continues communicant avec des structures cellulaires sous les trottoirs (Ville de Vancouver, 2019b)

Des scientifiques en foresterie ont découvert dans les dernières décennies que les arbres d'une forêt communiquent et s'entraident par l'intermédiaire de leurs racines (Wohlleben, 2016). L'aménagement de fosses continues augmenterait donc les chances de survie des arbres sur la rue de Rouen, un enjeu majeur tel qu'expliqué à la sous-section 3.2.1. Des efforts devraient être déployés pour rallier la population locale à cet aménagement, notamment les commerçants, les résidents et le

personnel de l'école Saint-Anselme. Par le biais de séances d'information et de consultation, un dialogue doit être établi sur les changements opérationnels de la rue et les compromis qui pourraient être nécessaires de part et d'autre. L'implication de la communauté augmenterait les chances de pérennité du projet. La figure 6.3 illustre la rue de Rouen telle qu'elle est aménagée en temps normal.

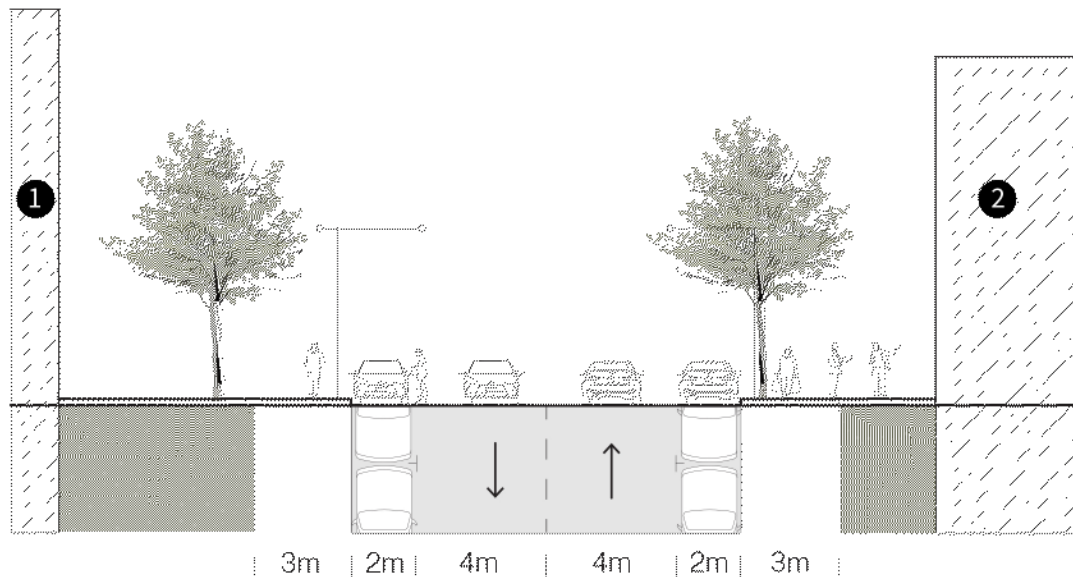


Figure 6.3 Vue en coupe de l'aménagement de la rue de Rouen en temps normal entre l'école Saint-Anselme (1) et un immeuble d'habitation (2)

La figure 6.4 à la page suivante présente une illustration des changements proposés.

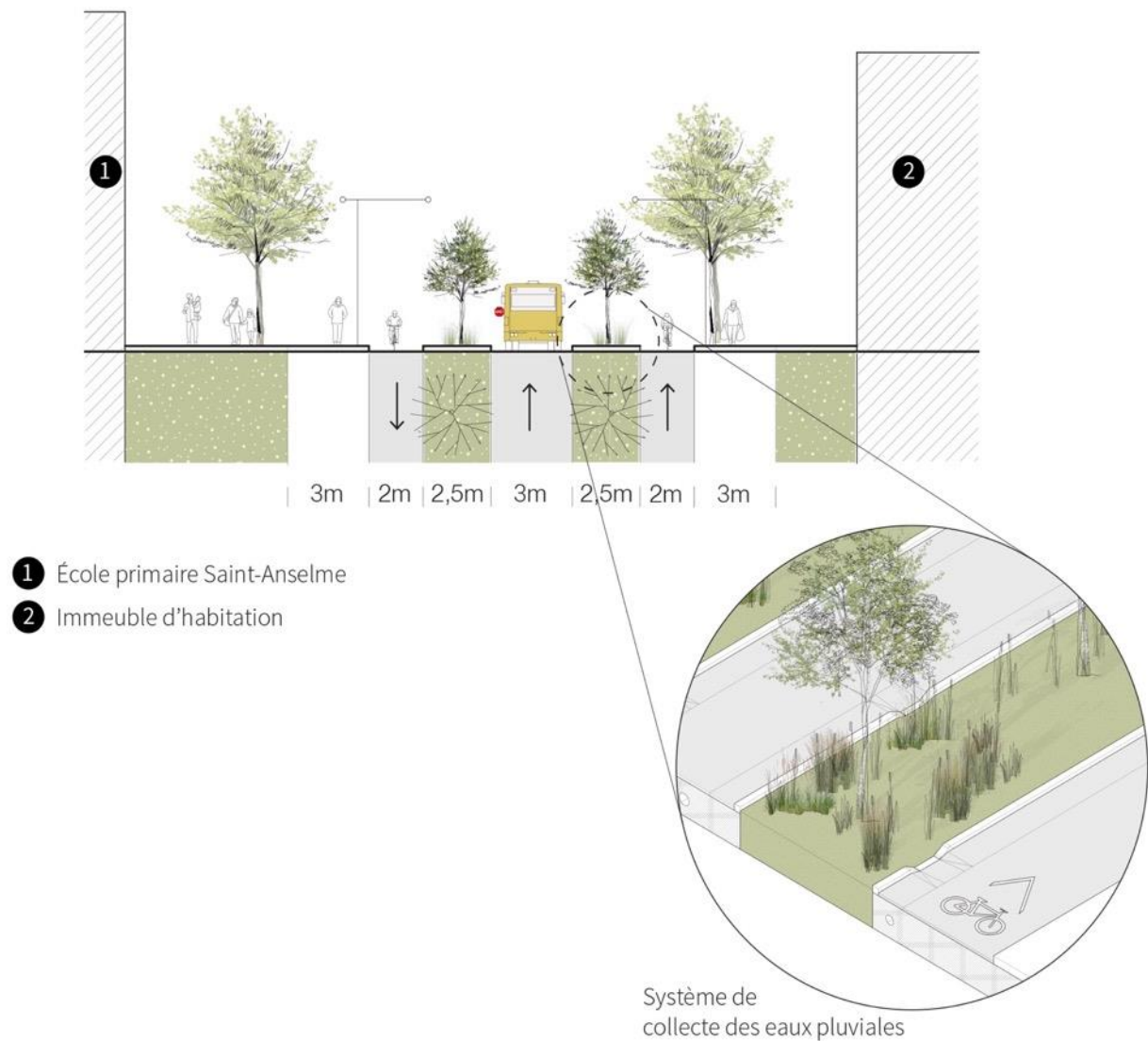
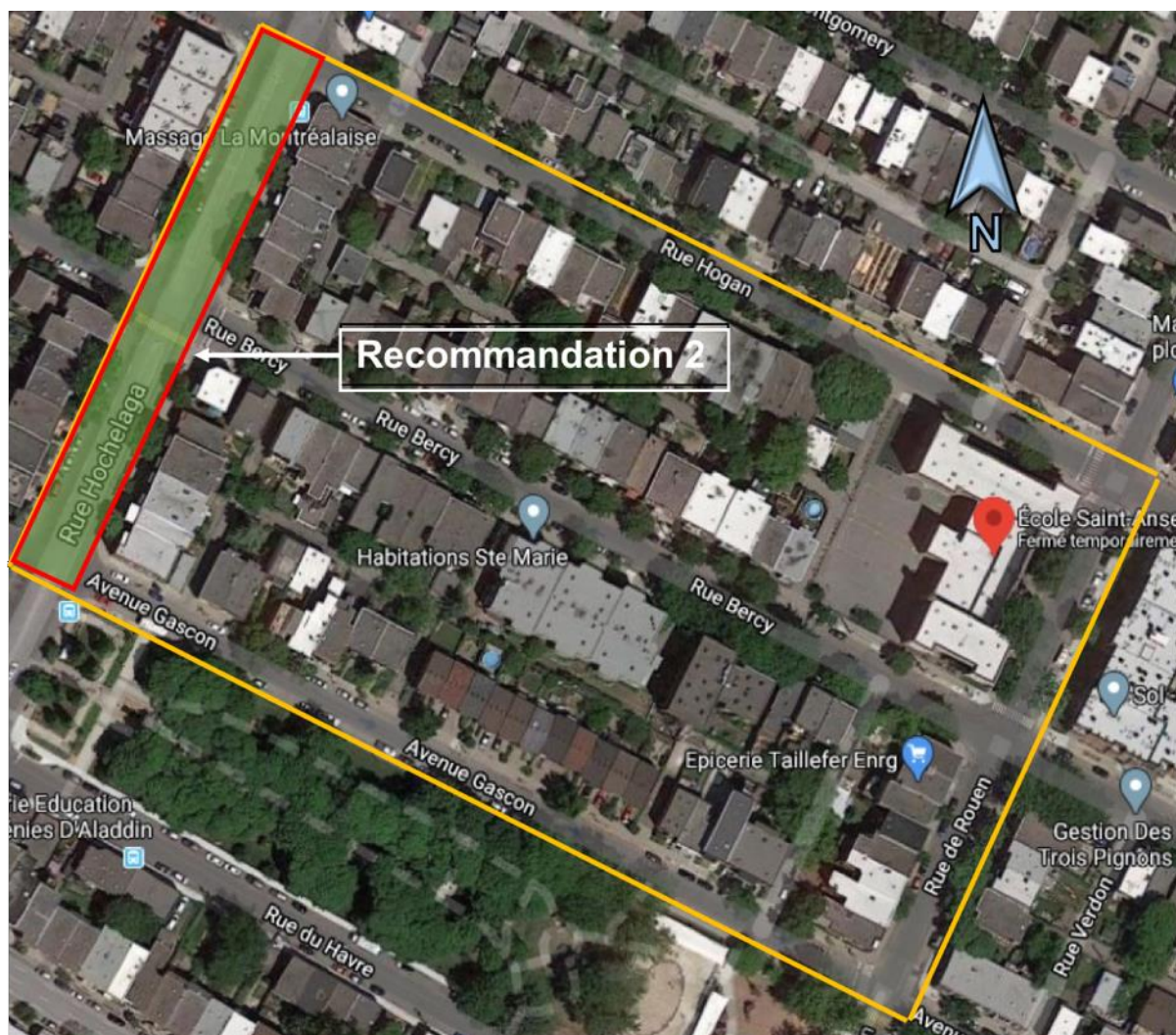


Figure 6.4 Vue en coupe du nouvel aménagement résilient proposé sur la rue de Rouen

- Recommandation 2 : Aménager la rue Hochelaga en corridor scolaire sécuritaire et résilient grâce au retrait de voies routières et à l'ajout d'aires de biorétention (figure 6.5).
- Objectifs : Réduire le débit et le volume d'eaux de ruissellement dans le réseau d'égout unitaire; réduire le réchauffement de l'air; encourager le transport actif; sécuriser les déplacements des écoliers.



Une analyse de la topographie du site et de l'emplacement des puisards devrait être exécutée afin de déterminer comment elles pourraient s'intégrer au site et au système de collecte des eaux déjà en place. Leur performance serait optimale en bordure des puisards si un système partagé de collecte d'eaux est possible. Il s'agirait du scénario idéal pour détourner un maximum d'eau; cependant, les biorétentions pourraient aussi être connectées directement à la rue par une bordure communicante, c'est-à-dire arasée au niveau de la rue. Une analyse des eaux de ruissellement en période de fonte des neiges et par temps pluvieux est également nécessaire afin de déterminer si elles sont trop polluées pour un ouvrage à infiltration complète. L'expérience de New York pourrait être utile ici puisque la mégapole a opté pour ce type de biorétention (voir figure 6.6).



Figure 6.6 Les cellules de biorétention en réseau de New York à infiltration complète (Tiré de : Jewell, 2015, 16 décembre)

Les phytotechnologies sur la rue Hochelaga devraient être des creusets de diverses essences végétales pour augmenter leur chance de survie et la biodiversité locale. Il est préférable d'intégrer trois strates de végétation aux aires, c'est-à-dire des plantes herbacées, des arbustes et des arbres, afin d'optimiser l'interception des eaux pluviales, la décontamination des eaux de ruissellement ainsi que l'évapotranspiration. Dans un scénario de biorétentions de 35 m², l'espace serait suffisant pour accueillir une variété de strates. Les espèces devraient bien sûr être adaptées aux inondations périodiques, surtout celles situées dans la zone de rétention, mais aussi aux périodes de sécheresse en temps estival. Le sel de déglacage étant néfaste pour la végétation, ainsi qu'aux cours d'eau en

aval, l'idéal serait d'éliminer ou réduire leur utilisation à proximité des biorétentions. La plantation d'espèces halophytes (résistantes aux sels de déglacage) est essentielle si l'arrondissement utilise ces produits en temps hivernal. Des études ont démontré que la concentration de sels demeure élevée toute l'année dans le substrat de biorétentions (Shetty et al., 2020). L'analyse périodique de la salinité des sols permettrait un entretien optimal et assurerait le maintien d'une végétation vigoureuse.

Une extension des trottoirs de 2,5 m des deux côtés de la rue est recommandée afin de permettre l'insertion des biorétentions. Avec près de 17 m de largeur entièrement dévoués aux automobilistes, la rue est peu hospitalière pour les piétons et les cyclistes. En outre, un corridor scolaire la traverse entre les rues Bercy et Hogan. Aucun aménagement ne semble avoir été fait pour la sécurité des jeunes écoliers mis à part trois saillies de trottoir. Il serait primordial d'abolir les voies de stationnement; les voitures garées ont tendance à obstruer la vue des automobilistes à l'approche des intersections (Sadik-Khan et Solomonow, 2016). Cette mesure diminuerait également les rejets de carburant et d'huile à moteur dans les aires de biorétention.

Avec les 12 m résiduels, il reste suffisamment d'espace pour instaurer deux pistes cyclables en direction est et ouest de 2,5 m chacune, une largeur qui leur permettrait de s'intégrer au Réseau Vélo Express de Montréal (Ville de Montréal, s.d.h). Une zone tampon de 0,5 m entre les pistes cyclables et les voies routières permettrait l'ajout de bollards pour la sécurité des cyclistes. À la différence de la proposition pour la rue de Rouen, l'emplacement des phytotechnologies est préférable en bordure des trottoirs plutôt qu'entre les pistes cyclables et les voies routières pour permettre un arrimage avec les puisards; les bollards sont donc préférables ici dans la zone tampon. Enfin, deux voies routières bidirectionnelles de 3 m chacune seraient maintenues. En somme, cette proposition d'aménagement permettrait l'ajout de nouvelles biorétentions pour répondre à l'enjeu de surverses, le retrait de voies de stationnement pour réduire la pollution des biorétentions et le remplacement de deux voies routières par deux pistes cyclables pour encourager le transport actif et rendre la rue plus sécuritaire pour les écoliers en déplacement dans le corridor scolaire.

Néanmoins, il pourrait y avoir un enjeu d'acceptabilité sociale face à cet aménagement. Les commerçants s'opposent souvent au retrait de voies de stationnement, croyant qu'il entraînerait des pertes de clients. Or, de nombreuses études démontrent que les rues multimodales, c'est-à-dire celles qui offrent un espace important aux cyclistes et piétons, entraînent de meilleurs chiffres d'affaires pour les détaillants (Transport for London, 2018). À New York, quelques résidents se sont opposés à l'arrivée de biorétentions devant leur porte, notamment à cause des déchets qui s'y accumulaient (Nir, 2017). Afin de désamorcer le syndrome Nimby (*Not in my backyard*), l'arrondissement devrait tenir des séances d'information où des élus pourraient répondre aux craintes des citoyens. Les

regroupements de commerçants locaux ainsi que l'Éco-quartier Sainte-Marie, qui a pignon dans l'arrondissement, devraient être consultés en amont de la planification du réaménagement de l'artère, notamment pour l'emplacement des biorétentions. Une fois celles-ci installées, un programme de bénévolat permettant aux résidents « d'adopter » une biorétention devrait être organisé. En leur assignant une responsabilité d'intendance face aux phytotechnologies, l'arrondissement responsabilise les citoyens face à la réussite du projet et dynamise leur rôle traditionnellement passif. Ce programme pourrait même rehausser l'employabilité de certaines personnes sans emploi. Une synergie serait ainsi créée entre les besoins de résilience écologique et sociale du quartier.

→ Recommandation 3 : Végétaliser la cour de l'école Saint-Anselme (figure 6.7).

- Objectifs : Offrir une oasis de fraîcheur aux écoliers et à la communauté locale; réduire la charge d'eaux de ruissellement dans le réseau d'égout; enseigner les rudiments de l'agriculture urbaine et des bienfaits de la biodiversité en ville dans des ateliers ouverts aux écoliers et à la population locale; créer un environnement naturel favorable aux activités pédagogiques en plein air.



Figure 6.7 Localisation de la cour de l'école Saint-Anselme (quadrilatère : 154 m X 260 m)

Malgré la présence d'arbres matures devant l'école Saint-Anselme, la cour est dépourvue de verdure sauf pour un arbre de taille moyenne. Les écoliers sont ainsi presque totalement exposés aux rayons de soleil lors des pauses récréatives (voir figure 6.8). L'auteure recommande à l'arrondissement d'entreprendre avec la direction de l'école et le centre de services scolaire un réaménagement de la cour impliquant un retrait important de l'asphalte. La proposition est de poser un revêtement perméable ou alvéolé sur la partie du terrain dédiée aux aires de jeux et de naturaliser le reste du site de 1 200 m². Une première étape à ne pas omettre est de procéder à un diagnostic complet de la cour d'école. La démarche peut comprendre l'évaluation de la température de surface et de l'air et l'identification de points d'accumulation d'eaux de ruissellement. Les informations collectées aideraient à concevoir un aménagement optimal en collaboration avec les écoliers et les parents dans un processus de co-création. La nouvelle cour pourrait comprendre un potager, des arbres matures et fruitiers, un jardin conçu pour les insectes pollinisateurs et une aire de biorétention.



Figure 6.8 Vue panoramique de la cour de l'école Saint-Anselme (photo de l'auteure, 8 août 2020)

Un tel projet proposerait une plus-value éducative et un espace d'apprentissage en plein air propice à la distanciation sociale en période de pandémie. L'arrondissement Ville-Marie pourrait s'inspirer des partenariats entre les écoles et les municipalités qui développent des « parcs-écoles », c'est-à-dire des parcs en bordure d'écoles qui sont fréquentés autant par des écoliers que la communauté (Pion, 25 février 2018). L'objectif est de mutualiser les bénéfices pour divers groupes locaux, à l'instar des cours « Oasis » de Paris. En ouvrant l'accès aux autres groupes vulnérables en temps de canicule, l'arrondissement et l'école peuvent plus facilement justifier la création d'un parc-école et solliciter des aides financières publiques et privées. D'ailleurs, la cour de l'école Saint-Anselme est idéalement située vis-à-vis une ruelle verte. En connectant le site scolaire avec la ruelle, l'arrondissement créerait une oasis de fraîcheur élargie pour les résidents des rues Hogan et Bercy. Les résidents devraient nécessairement être consultés sur l'usage qu'ils souhaiteraient faire de la cour et par la suite être invités à l'entretenir. Ce projet pourrait servir de projet pilote à l'arrondissement et même à la Ville de Montréal pour un vaste programme de verdissement englobant toutes les écoles de l'agglomération. Quoi qu'il en soit, les données sur les conditions climatiques de la cour (températures des surfaces et de l'air, cheminement des eaux de ruissellement, etc.) devraient être prises à intervalles régulières pour évaluer la performance de l'aménagement et l'ajuster au besoin dans un processus itératif. Elles pourraient également être comparées aux conditions d'un site minéralisé à proximité afin de documenter les bienfaits de l'intervention.

→ Recommandation 4 : Végétaliser les toitures de l'école Saint-Anselme et de la résidence pour personnes âgées Habitations Sainte-Marie (figure 6.9).

- Objectifs : Offrir un espace frais et récréatif pour les enfants et les personnes âgées; prévenir les hospitalisations et les incidences de mortalité dues aux vagues de chaleur; réduire les besoins en climatisation et la charge énergétique liée; apporter une valeur

éducative, récréative et nourricière à l'environnement naturel des groupes vulnérables; réduire les volumes d'eaux pluviales dans le système d'égout; augmenter la biodiversité urbaine.



Figure 6.9 Localisation des toitures visées à la recommandation 4 (quadrilatère : 154 m X 260 m)

L'école Saint-Anselme et les Habitations Sainte-Marie sont dotées de toits blancs et gris respectivement selon les images satellitaires mises en ligne sur Google Maps. Ils sont conformes aux normes de l'arrondissement Ville-Marie qui exige depuis 2013 que les nouveaux toits sur son territoire soient verts, blancs ou gris (Ville-Marie, s.d.). Or, les bénéfices des toits blancs et gris sont limités puisqu'ils permettent seulement de réduire l'intensité des canyons d'air chaud. Les toits végétalisés offrent une multitude de services particulièrement bénéfiques pour les groupes vulnérables. Ils peuvent servir de haltes de fraîcheur et de repos; ils apportent une valeur éducative et nourricière, notamment s'ils accueillent des cultures vivrières; ils aident à offrir des habitats à la faune urbaine et aux insectes; ils sont très efficaces pour détourner les eaux pluviales des égouts, jusqu'à 85 % pour les toitures intensives (Mentens et al., 2006). Dans un souci de réduire les coups de chaleur et les

incidences de mortalité en temps caniculaire auprès des personnes vulnérables, l'arrondissement Ville-Marie devrait rendre obligatoires les toitures végétalisées pour les centres de résidence pour personnes âgées et les écoles. Afin que les bienfaits soient significatifs, la proposition est de végétaliser au moins 50 % de la surface non obstruée des toits des bâtiments existants et futurs. Le verdissement intensif devrait être imposé pour les toits majoritairement plats.

Grâce à cette nouvelle réglementation, les toits de l'école Saint-Anselme et des Habitations Sainte-Marie seraient ainsi verdis pour réduire la vulnérabilité des occupants. Pour la résidence, une section du toit pourrait être dédiée au jardinage et à la culture potagère, protégée du soleil par de petits arbres ou des parois ornées de plantes grimpantes. En plus d'offrir une halte fraîcheur, cet aménagement proposerait des activités récréatives et vivrières bénéfiques au bien-être physique et psychologique des résidents (Ambrose et al., 2020). Du côté de l'école Saint-Anselme, une approche multifonctionnelle du toit serait également favorable au développement des enfants et propice à des ateliers de formation sur l'agriculture et le jardinage. L'installation de nichoirs pour les oiseaux et de ruches pourrait être considérée avec la collaboration d'acteurs externes tels que Miel Montréal, une coopérative qui offre des ateliers en milieu scolaire (Miel Montréal, s.d.). Il est primordial d'impliquer les personnes âgées et les enfants, dans la mesure du possible, dans l'aménagement et l'entretien des toits dans un processus de co-création qui répond réellement à leurs besoins. Afin d'encourager les propriétaires privés à adopter les toits végétalisés, une nouvelle réglementation devrait être accompagnée d'incitatifs financiers, puisque ce type de toits entraîne des dépenses plus importantes que les toits blancs ou gris (Sproul et al., 2014). Les gains de résilience sur l'ensemble du quartier seraient plus importants.

6.2 Recommandations structurantes à l'attention de la Ville de Montréal

Les recommandations spécifiques précédentes doivent pouvoir être appuyées par des plans et des programmes de la Ville de Montréal. Une collaboration entre les unités administratives et la Ville est essentielle autant pour le partage de connaissances que la réussite d'objectifs communs de résilience climatique. Cette section propose donc des politiques habilitantes à l'échelle de l'agglomération pour outiller les arrondissements et uniformiser les efforts sur l'ensemble du territoire.

La Ville de Montréal devrait préparer un plan de résilience pour chaque aléa climatique plutôt qu'un plan englobant tous les enjeux. Une approche ciblée et spécialisée permettrait d'aller en profondeur sur les impacts en milieu urbain, sur les données et statistiques disponibles et sur une stratégie structurante inspirée des meilleures pratiques et adaptée au contexte montréalais. Le Plan d'adaptation aux changements climatiques 2015-2020 ne creuse pas assez certaines problématiques; il consacre seulement un encadré aux surverses et aux ICU. Or, un plan de résilience doit

nécessairement faire une analyse détaillée des conséquences nuisibles des aléas climatiques à Montréal avant de tirer des objectifs.

- Recommandation 5 : La Ville de Montréal devrait préparer un plan de résilience pour faire face aux pluies abondantes et aux enjeux qui en découlent. Un tel plan devrait prévoir une implantation massive de phytotechnologies de biorétention et mobiliser toutes les parties prenantes, y compris les citoyens, pour son succès.
 - Objectifs : Réduire les occurrences de surverses et d'inondations par une stratégie globale et exhaustive; informer et impliquer diverses parties prenantes afin de développer une expertise montréalaise en phytotechnologies.

Ce plan devrait s'arrimer avec toute future stratégie d'optimisation des réseaux d'eau potable et d'eaux usées de Montréal. La Stratégie montréalaise de l'eau 2011-2020 arrive à terme. Elle ne faisait aucune mention du rôle important des infrastructures naturelles dans la gestion des eaux pluviales et ne prévoyait pas intégrer de phytotechnologies dans son éventail de mesures (Ville de Montréal, 2011). Un nouveau plan de résilience face aux pluies devrait être intégré à une stratégie globale afin que des mesures d'implantation de phytotechnologies soient considérées comme des pratiques de gestion d'eau optimales. Cependant, il devrait être considéré comme un plan d'action à part entière méritant les ressources matérielles et professionnelles pour son exécution, indépendamment de ce qu'il adviendrait d'une stratégie globale. Montréal devrait suivre l'exemple de Vancouver et New York, deux villes qui ont misé principalement sur les biorétentions pour diminuer les volumes des surverses. L'auteure encourage les décideurs municipaux à implanter des biorétentions en chaîne afin d'optimiser leurs bénéfices. Les routes à fort débit de circulation et les stationnements devraient être les sites prioritaires d'intervention. Les cartes que la Ville détient sur les zones de ruissellement excessif pourraient aussi être fort utiles à cette étape (Ville de Montréal, 2017a). Les toits végétalisés s'avèrent être une autre option intéressante en termes de ratio coût/efficacité puisqu'ils représentent une dépense de 1 704 \$ par m³ d'eau retenu, un des meilleurs résultats selon une étude d'Ouranos (Ouranos, 2011). En adoptant une vision à long terme, la Ville de Montréal pourrait exiger la construction de toits dont la capacité portante permettrait leur végétalisation dans son Règlement sur la construction et la transformation.

Pour rehausser son expertise et les chances de réussite d'une stratégie ambitieuse, la Ville doit nécessairement collaborer avec diverses parties prenantes. Un partage des connaissances avec la Communauté métropolitaine de Montréal est souhaitable, d'autant plus qu'elle a produit le plan Archipel en 2019. Ce plan encourage entre autres la réduction d'épisodes de surverses par l'intégration de phytotechnologies (CMM, 2019b). Le ministère des Affaires municipales et de

l'Habitation est un autre partenaire incontournable. Son Programme de soutien aux municipalités dans la mise en place d'infrastructures de gestion durable des eaux de pluie finance des projets de phytotechnologies, comme un nouveau projet de saillies écologiques drainantes dans Rosemont-La-Petite-Patrie (Magalhaes, 8 juillet 2020). Les arrondissements et municipalités liées à la Ville de Montréal sont également des alliés précieux pour disséminer les actions sur le terrain, partager leur savoir et assurer l'atteinte des objectifs d'un plan de résilience.

Enfin, les citoyens devraient être invités à contribuer à l'entretien des biorétentions et autres phytotechnologies. Une campagne de communication et de consultation serait de mise pour assurer la participation citoyenne. Éventuellement, la Ville de Montréal pourrait recruter des volontaires qui voudraient « adopter » une biorétention et l'entretenir. Elle s'inspirerait ainsi de la Ville de Vancouver, où la campagne de recrutement lancée en 2017 a été un grand succès, avec 2 400 puisards « adoptés » à ce jour. Une carte interactive en ligne identifie les puisards disponibles, et ceux où les inondations locales sont plus fréquentes. (Ville de Vancouver, 2019a) Vancouver recrute également des bénévoles pour entretenir ses jardins urbains. Une campagne similaire pourrait être effectuée pour des biorétentions à Montréal suite à une formation de base. Bien que les Vancouverois mettent la main à la pâte sans rien demander en échange, la Ville de Montréal pourrait trouver une façon de récompenser ses bénévoles. Son message principal devrait toutefois porter sur les bienfaits collectifs d'avoir des cours d'eau de meilleure qualité, comme l'ajout de plages propres à la baignade. L'objectif pour la Ville est d'établir un dialogue franc avec la communauté sur les enjeux et les coûts des changements climatiques, mais aussi sur les gains à retirer d'un territoire plus résilient. Cela sous-entend que la résilience de Montréal est dans l'intérêt de tous.

- Recommandation 6 : Se doter des études et des outils nécessaires pour avoir un portrait complet et détaillé des surverses à Montréal, notamment en matière de volumétrie et de contamination.
 - Objectifs : Identifier les meilleurs sites d'implantation de phytotechnologies en amont des ouvrages de surverses les plus polluants; faire un suivi de la problématique basé sur les volumes et la qualité des eaux de débordements d'égouts; mieux informer et sensibiliser la population sur cet enjeu.

La revue des données disponibles et la veille sur les meilleures pratiques à l'étranger ont révélé une connaissance incomplète du phénomène à Montréal. Contrairement à New York ou Vancouver, la Ville de Montréal ne connaît pas la quantité exacte des volumes ni la nature des eaux usées rejetées dans les cours d'eau. Les enregistreurs électroniques exigés par les normes du gouvernement provincial comptabilisent seulement le nombre de débordements et leur durée (Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques, 2020). La Ville pourrait travailler à développer une

méthode fiable pour évaluer la quantité d'eau rejetée lors de débordements d'égouts. Pour le moment, les estimations ne sont pas jugées assez représentatives pour être publiées (É. Papillon, échange de courriels, 15 juillet 2020).

Pour compléter le portrait, la Ville pourrait entreprendre l'installation de stations d'échantillonnage à la sortie des ouvrages de surverses qui seraient activées lors de déversements. Ces démarches permettraient d'identifier les ouvrages de surverses les plus polluants, autant en matière de volumes que de contamination. Elle devrait également retracer les points critiques en amont des ouvrages problématiques. Comme expliqué à la section 5.2.2 sur les limites de l'analyse, il y a un déficit de données topographiques et géographiques à la Ville sur cet enjeu. Une analyse plus fine des caractéristiques sur le terrain est nécessaire pour identifier les zones critiques. L'idée est d'établir des corrélations entre le ruissellement en amont et le comportement des ouvrages de surverses en aval, et identifier les sites d'intérêt pour des biorétentions. La Ville pourrait vérifier si ces secteurs critiques correspondent aux zones inondables figurant dans le Plan d'adaptation aux changements climatiques (Ville de Montréal, 2017a). En ayant en main ces données supplémentaires, la Ville serait mieux équipée pour suivre la situation tout comme la performance de nouvelles phytotechnologies. En somme, une meilleure connaissance du problème permettrait de développer un plan de résilience plus ciblé à la hauteur des défis.

En outre, un manque d'information des autorités face au problème de surverses a été relevé à l'étape de la recherche. Les dernières données sur le nombre de surverses rendues publiques par le gouvernement provincial remontent à l'année 2013. Le dernier bilan sur la performance des municipalités publié en juin 2020 ne divulgue pas le nombre de surverses par usine de traitement et ne permet donc pas de suivre l'évolution de cet enjeu important depuis 2013. (Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2020) Du côté de la Ville de Montréal, les données sur les débordements sur une base journalière pour chaque ouvrage de surverse sont publiées en ligne (Ville de Montréal, s.d.i). Bien que l'accessibilité de ces données soit louable, leur quantité volumineuse représente un frein important pour le commun des mortels. Il revient aux internautes de comptabiliser le nombre de surverses à l'aide du logiciel Excel. Dans un souci de démocratiser l'information sur cet enjeu important, la Ville aurait intérêt à rendre la présentation des données plus digeste pour le grand public. En divulguant un bilan annuel sur les surverses, par exemple sous forme de bulletin, elle conscientiserait la population sur l'ampleur du problème, une étape importante avant toute entreprise de mobilisation.

→ Recommandation 7 : Comme pour les pluies abondantes, la Ville de Montréal devrait préparer un plan de résilience pour faire face aux vagues de chaleur et aux ICU. Dans le cadre de ce plan,

la Ville devrait mettre en place une réglementation qui exige entre autres la végétalisation des toits d'immeubles fréquentés par une clientèle vulnérable. Le plan devrait également prévoir un programme de végétalisation des cours d'école de la métropole.

- Objectifs : Réduire le nombre d'hospitalisations et d'incidences de mortalité dues aux enjeux liés aux vagues de chaleur; maintenir le confort et les activités journalières des écoliers et des personnes âgées en temps de canicules; apporter une valeur éducative, récréative et nourricière à l'environnement naturel des groupes vulnérables.

Comme pour l'enjeu des surverses, la Ville de Montréal devrait s'outiller pour mieux comprendre la problématique des ICU sur son territoire. Un travail de cartographie a déjà été entamé par l'INSPQ et le Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy pour identifier les zones à risque (voir la figure 2.1 au chapitre 2). La Ville devrait collaborer avec ces centres de recherche et d'autres pôles d'expertise tels qu'Ouranos pour développer un service en ligne qui permettrait aux Montréalais de savoir s'ils habitent et travaillent dans un ICU. Avec ces mêmes partenaires et la CMM (qui supervise le taux de canopée), elle devrait cartographier les ilots et parcours de fraîcheur et permettre aux Montréalais de les localiser grâce à une carte interactive. Elle pourrait s'inspirer de la mairie de Paris qui a fait un excellent travail de repérage de plus de 900 « lieux frais » dans la ville lumière (musées, toits végétalisés, bibliothèques, etc.). Les boisés sont même distingués entre eux selon leur proportion de végétation haute. (Ville de Paris, 2020b) Pour l'heure, la Ville de Montréal a mis en ligne une carte de haltes fraîcheur qui semble incomplète et qui ne fait pas de distinction selon la densité de la canopée (Ville de Montréal, 2020c). Munie d'une meilleure connaissance, la Ville serait plus à même de développer des mesures misant largement sur la végétalisation de lieux fréquentés par des groupes vulnérables.

Un volet entier du plan de résilience devrait porter sur la végétalisation des cours d'écoles montréalaises. La végétalisation de la cour de l'école Saint-Anselme (recommandation 3) pourrait avoir valeur de projet pilote sur lequel s'appuierait un programme à grande échelle. Il serait important pour la Ville de développer une méthode de diagnostic reproductible pour tous les établissements, prenant en compte les températures de surface et de l'air. Si les écoliers sont principalement incommodés par les coups de chaleur, les aléas liés aux pluies abondantes, tels que les inondations localisées, ne devraient pas être ignorés. L'idéal serait de déminéraliser autant que possible les cours d'écoles à moins d'enjeux d'accessibilité, par exemple pour les enfants à mobilité réduite. Il est primordial que les cours soient conçues par et pour les écoliers et leurs parents. Comme expliqué à la troisième recommandation portant sur l'école Saint-Anselme, le potentiel pour l'accueil de phytotechnologies et d'espaces verts est fort intéressant. En utilisant la grille d'analyse développée dans cet essai, la Ville pourrait intervenir en premier lieu auprès des écoles primaires ayant à proximité

un centre d'hébergement pour personnes âgées. Elle devrait nécessairement travailler de concert avec les centres de services scolaires et les arrondissements, et de potentiels bailleurs de fonds privés (institutions bancaires, grandes bannières, etc.), pour mettre en œuvre un ambitieux programme de végétalisation. Une boîte à outils pour les directions d'écoles participantes pourrait être développée en collaboration avec des acteurs déjà impliqués dans le verdissement des cours, tels que Vivre en Ville (2014).

Un second volet important devrait porter sur la végétalisation des toits. La Commission permanente sur l'eau, l'environnement, le développement durable et les grands parcs de Montréal a recommandé en 2017 de suivre l'exemple de Toronto qui exige un taux de végétalisation croissant en fonction de la superficie, jusqu'à 50 % pour les nouveaux immeubles d'une surface de plancher de 15 000 m² et plus (Commission permanente sur l'eau, l'environnement, le développement durable et les grands parcs, 2017; Ville de Toronto, s.d.b). Il a également été démontré dans cet essai l'importance de tenir compte de la vulnérabilité sociale sous les toits pour une stratégie équitable et cohérente. La proposition est donc en premier lieu de créer une réglementation inspirée de l'exemple torontois intégrant une échelle de végétalisation selon la surface de plancher. Les délivrances de permis de végétalisation permettraient à la Ville de suivre les progrès du programme.

En second lieu, elle devrait rendre obligatoire pour tout édifice accueillant des enfants à bas âge et des personnes âgées la végétalisation de 50 % de la superficie des toits disponible (non obstruée par des équipements). Une proportion unique importante pour toutes les surfaces qui abritent des personnes vulnérables simplifierait le processus et aurait des retombées concrètes. Ce second volet de la réglementation s'appliquerait au parc bâti existant et futur de l'agglomération. Le type de végétalisation devrait être à majorité intensive pour les toits plats sur les bâtiments dont la capacité portante est suffisante. Cette réglementation devrait être accompagnée d'incitatifs financiers pour les établissements du secteur privé. En plus de rafraîchir l'air et retenir les eaux pluviales, ces toits offrent un aspect pédagogique et récréatif intéressant. Les écoliers et les aînés peuvent être invités à participer à leur entretien et à jouir de la biodiversité qu'ils procurent.

Les toitures intensives offrent un bon potentiel pour des cultures maraîchères qui contribueraient à l'approvisionnement local. Un tel projet est déjà en cours sur le Plateau Mont-Royal, où les vivres cultivés sur le toit du Santropol Roulant, un centre alimentaire communautaire, servent à préparer des repas pour des personnes en perte d'autonomie (figure 6.10) (Santropol Roulant, s.d.).



Figure 6.10 Toit maraîcher du centre alimentaire Santropol roulant à Montréal (Tiré de : Santropol Roulant, s.d.)

Pour l'heure, la majorité des arrondissements de Montréal ne permettent pas l'installation de serres sur les toits, ce qui représente un frein à l'adoption de toits maraîchers par l'industrie alimentaire. L'arrondissement Saint-Laurent fait figure de proue puisqu'il a demandé à un supermarché IGA sur son territoire de végétaliser 50 % de sa toiture (Équiterre, s.d.). L'initiative, très populaire auprès de la clientèle, en est à sa quatrième année (Radio-Canada, 2020, 12 juin). La Ville a donc intérêt à modifier son Règlement sur la construction et la transformation de bâtiments pour encourager la végétalisation et la culture maraîchère sur les toits à l'échelle de l'agglomération (*Règlement sur la construction et la transformation de bâtiments*). Cette démarche est d'autant plus importante qu'elle mettrait un terme à un manque d'uniformité due aux différentes réglementations d'arrondissements. Selon le Conseil régional de l'environnement de Montréal (2019), l'agglomération piétine dans ce dossier depuis les années 2000 et tarde à compléter la phase de la recherche technique pour démarrer un vaste programme de végétalisation des toits. Les bienfaits de cette phytotechnologie sont pourtant bien établis, tout comme les connaissances techniques.

Un changement à la réglementation sur les toits lancerait un signal clair à l'industrie de la construction. Or, celle-ci a déjà tenté de faire obstruction en justice à des programmes municipaux de végétalisation des toits (Bélanger, 15 juin 2020). Elle est donc une partie prenante importante avec laquelle la Ville devrait collaborer pour éviter d'éventuelles embûches. En outre, l'adoption de toitures végétalisées

est ralentie par un cadre réglementaire rigide de la Régie du bâtiment du Québec (RBQ). Par exemple, elle limite à 1 200 mm la hauteur des végétaux, ce qui empêche la plantation de plusieurs espèces (Régie du bâtiment du Québec, 2015). La Ville pourrait travailler de concert avec la RBQ et plusieurs ordres professionnels, tels que l'Ordre des architectes et l'Ordre des ingénieurs du Québec, pour rendre le processus de végétalisation plus fluide et permissif, par exemple par des amendements au Code national du bâtiment. La Ville pourrait aussi créer un guichet d'information et un service d'accompagnement pour les propriétaires, ou encore offrir des séminaires. En ce qui concerne les écoles, une collaboration avec les centres de services scolaires serait nécessaire pour la réussite d'un programme de végétalisation des toits scolaires. Une démarche semblable devrait être entreprise avec les diverses associations des centres d'hébergement et de soins de longue durée publics et privés.

→ Recommandation 8 : Planifier et mettre en application un programme de reboisement axé sur la déminéralisation et la création de corridors écologiques. Les mesures de ce programme, ou nouveau plan canopée, devraient être conçues de façon à soutenir les objectifs des plans de résilience face aux pluies abondantes et aux vagues de chaleur.

- Objectifs : Augmenter le couvert forestier dans les secteurs fortement minéralisés de l'Est de Montréal; créer un réseau de corridors verts reliant les parcs et boisés entre eux; mobiliser les grands propriétaires dans des efforts de reboisement et de conservation écologique; habiliter les résidents à verdir leur quartier.

Le taux de la canopée a reculé pour la première fois depuis 2011 dans l'agglomération de Montréal, passant de 22,2 % en 2017 à 21,5 % en 2019 (CMM, 2020). Ce constat alarmant est principalement dû à l'urbanisation. Le plan d'action canopée 2012-2021, dont l'objectif est un taux de canopée de 25 % pour 2025, arrivera à terme l'année prochaine (Ville de Montréal - Direction des grands parcs et du verdissement, 2012). C'est l'occasion pour la Ville de préparer un plan de reboisement plus ciblé, dont un des principaux objectifs doit être la connectivité écologique entre les parcs. Les corridors verts agissent comme des barrières de fraîcheur et permettent aux arbres de mieux résister eux-mêmes aux chocs thermiques. Une étude cartographique de l'agglomération pour identifier des sites d'intérêt de reboisement devrait être réalisée de concert avec des parties prenantes déjà impliquées telles que des chercheurs en foresterie urbaine, la CMM et le Conseil régional de l'environnement de Montréal pour sa campagne d'interventions locales en environnement et aménagement urbain (projet ILEAU).

L'Est de Montréal, desservie par le réseau d'égout unitaire et très minéralisée, est un secteur à prioriser. La Ville devrait mettre en place un fonds de reboisement pour les projets de plantation, notamment pour financer la déminéralisation, l'acquisition et le reboisement de terrains vacants tels que des stationnements désuets ou sous-utilisés. Les grands propriétaires industriels pourraient être

impliqués dans cette démarche qui encouragerait la régénération des quartiers est de la métropole. Les institutions universitaires propriétaires de terrains boisés, pourraient aussi être mises à contribution dans un effort de protection du capital naturel montréalais, par exemple en cédant des sites d'intérêt écologique à des fins de conservation. Une telle entente avec la Ville pourrait prendre la forme d'un don écologique ou d'une servitude de conservation (Société de l'arbre du Québec et Centre québécois du droit de l'environnement, 2004).

Il est essentiel d'impliquer les citoyens dans un programme de reboisement, notamment ceux vivant dans des ICU. Ils pourraient jouer un rôle clé dans le repérage de lieux à reboiser. La Ville pourrait mettre en ligne une plateforme interactive à laquelle ils contribueraient pour identifier les sites d'intérêt et soumettre des projets participatifs de reboisement. Comme pour les toits végétalisés, la Ville pourrait mettre à la disposition des groupes de quartier, des coopératives d'habitation et des propriétaires privés un accompagnement pour les différentes étapes de projets de reboisement, telles que la déminéralisation. Elle devrait trouver des occasions de libérer de l'espace public pour ces interventions, en partenariat avec les arrondissements et les éco-quartiers. Par exemple, elle pourrait convertir illico toutes les ruelles de Montréal en ruelles vertes tout en permettant aux résidents de conserver leurs droits acquis de stationnement.

→ Recommandation 9 : Mettre en place un mécanisme ascendant pour les citoyens désirant soumettre des projets participatifs de résilience climatique par la végétalisation. Soumettre les projets plus méritants à un budget participatif.

- Objectifs : Mobiliser les forces vives citoyennes dans un effort collectif de végétalisation de la ville; encourager un sentiment d'appropriation et de responsabilisation chez les citoyens face aux projets de résilience climatique.

Les Montréalais développent de plus en plus un appétit pour les projets participatifs d'aménagement. L'engouement pour les ruelles vertes, les initiatives de verdissement des ruelles de Montréal, en est un exemple parmi tant d'autres. La Ville de Montréal devrait profiter de cette tendance pour mettre en place une plateforme qui encouragerait les citoyens à soumettre divers projets de végétalisation pour un financement municipal. Les projets lauréats seraient choisis par les Montréalais eux-mêmes. Ce serait l'occasion pour la Ville de lancer son premier budget participatif, à l'instar de Paris qui soumet 5 % de son budget d'investissement au vote populaire (Ville de Paris, 2020c). Un budget participatif est un processus démocratique par lequel la population affecte, par vote populaire, des deniers publics à des projets d'intérêt collectif (Labo Démocratie ouverte, s.d.). La municipalité procède ensuite à un premier tri des projets candidats en fonction de leur recevabilité et de leur faisabilité technique. Elle doit orienter les initiatives en fonction des besoins sur le terrain, et écarter celles qui

causeraient des iniquités sociales. Puis, les finalistes sont soumis au vote des citoyens. Il s'agit donc d'encourager des projets créés et sélectionnés par les citoyens dans un processus de co-création avec la Ville. Des organismes qui accompagnent déjà des groupes citoyens dans la réalisation de projets participatifs, tels que le Centre d'écologie urbaine de Montréal et Solon, seraient de judicieux partenaires pour mettre en place le budget participatif et divers programmes de participation citoyenne.

→ Recommandation 10 : Développer un modèle montréalais de super ilot inspiré du *superille* de Barcelone.

- Objectifs : Libérer de l'espace public pour faire place à des corridors verts et des phytotechnologies; encourager les modes de transport actif; apaiser la circulation automobile.

Montréal a expérimenté avec diverses initiatives d'apaisement de la circulation automobile au profit de la mobilité active à l'été 2020. L'arrondissement de Rosemont-La-Petite-Patrie a parti le bal en annonçant la création de neuf « milieux de vie verts et actifs » à priorité piétonne le 7 mai 2020 (Magalhaes, 7 mai 2020). Conversion d'artères résidentielles en rues lentes, retrait de voies routières, création de « rues-écoles » (fermées aux voitures aux heures d'entrée et de sortie des écoliers) : l'arrondissement a entrepris une reconfiguration majeure de son réseau routier sur presque l'ensemble de son territoire. La Ville de Montréal a pour sa part mis en place des « voies actives sécuritaires » (VAS) totalisant 112 km favorisant la distanciation sociale dans le contexte de pandémie de la COVID-19. Ces nouvelles VAS à géométrie variable étaient des mesures temporaires estivales pour les piétons et cyclistes. Elles ont cependant connu un vif succès avec un achalandage élevé, démontrant leur pertinence et leur nécessité. (Bordeleau, 30 juillet 2020)

L'auteure recommande à la Ville d'étudier la formule barcelonaise des super ilots et d'observer l'implantation des « milieux de vie verts et actifs » dans Rosemont-La-Petite-Patrie. En considérant l'expérience « rosepatrinienne » comme un projet pilote, la Ville pourrait identifier les écueils et les solutions à l'apaisement de la circulation routière dans le contexte montréalais. Avec la collaboration d'experts en aménagement urbain et des arrondissements, elle serait en mesure de développer un modèle montréalais de super ilot qui tient compte de la configuration typique des rues locales et leurs contraintes. Elle pourrait identifier, avec les mêmes parties prenantes et les citoyens, les axes prioritaires d'intervention, toujours dans l'optique de rendre les secteurs fortement minéralisés plus résilients. L'occasion serait belle de créer une sorte de *think tank* sur l'urbanisme durable qui étudierait la faisabilité des meilleures pratiques nationales et internationales dans le contexte

montréalais. L'idée serait de converger les connaissances en matière de mobilité durable et de phytotechnologies dans un pôle d'expertise afin d'accélérer la transition écologique de la métropole.

Pour une meilleure compréhension globale, le tableau suivant présente une synthèse des recommandations spécifiques et structurantes, de leurs mesures respectives et des parties prenantes à impliquer. La dernière colonne établit les correspondances (ou la parenté) entre les recommandations spécifiques et les recommandations structurantes qui s'y rapportent.

Tableau 6.1 Sommaire des recommandations spécifiques et des recommandations structurantes

Ordre	Recommandations spécifiques/ arr. Ville-Marie	Mesures	Parties prenantes	Recommandations structurantes correspondantes
1.	Transformer la rue de Rouen en corridor de fraîcheur avec pistes cyclables	<ul style="list-style-type: none"> - Retirer une voie en direction ouest; - Maintenir une voie de 3 m à sens unique; - Remplacer deux voies de stationnement par deux pistes cyclables; - Ajouter deux bandes de fosses d'arbres continues et drainantes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Commerçants - Résidents - Personnel de l'école Saint-Anselme 	7, 8, 10
2.	Aménager la rue Hochelaga en corridor scolaire sécuritaire et résilient	<ul style="list-style-type: none"> - Retirer deux voies de stationnement; - Élargir l'espace piéton afin d'aménager des cellules de biorétention en chaîne; - Remplacer deux voies routières par deux pistes cyclables; - Mettre en place un programme bénévole d'entretien des biorétentions par les résidents. 	<ul style="list-style-type: none"> - Commerçants - Éco-quartier Sainte-Marie - Résidents 	5, 6, 10
3.	Végétaliser la cour de l'école Saint-Anselme	<ul style="list-style-type: none"> - Procéder à un diagnostic « climatique » de la cour; - Consulter les écoliers et les résidents de la ruelle avoisinante sur leurs besoins; - Retirer la majorité de l'asphalte de la cour, sauf pour les accès pour personnes à mobilité réduite; - Installer un revêtement perméable ou alvéolé pour les aires de jeux; - Aménager des espaces végétalisés mixtes (arbres, jardins vivriers, phytotechnologies, pelouse, etc.); - Évaluer les bénéfices de résilience de la cour végétalisée pour un éventuel programme élargi. 	<ul style="list-style-type: none"> - Personnel de l'école - Centre de services scolaire - Parents et écoliers - Bailleurs de fonds privés - Résidents 	5, 7, 8, 9, 10

Tableau 6.1 Sommaire des recommandations spécifiques et des recommandations structurantes (suite)

Ordre	Recommandations spécifiques/ arr. Ville-Marie	Mesures	Parties prenantes	Recommandations structurantes correspondantes
4.	Végétaliser les toitures de l'école Saint-Anselme et de la résidence pour personnes âgées Habitations Sainte-Marie	<ul style="list-style-type: none"> - Changer la réglementation pour exiger la végétalisation des toits d'immeubles accueillant des personnes vulnérables; - Végétaliser 50 % de la surface des toits; - Aménager des espaces végétalisés variés (jardins, potagers, petits arbres) permettant aux toits de remplir plusieurs fonctions; - Impliquer les occupants dans leur aménagement et entretien. 	<ul style="list-style-type: none"> - Personnel de l'école et du centre de résidence - Écoliers et parents - Résidents aînés - Organismes de culture sur toit 	5, 7, 10
Ordre	Recommandations structurantes/ Ville de Montréal	Mesures	Parties prenantes	Recommandations spécifiques correspondantes
5.	Préparer un plan de résilience pour faire face aux pluies abondantes	<ul style="list-style-type: none"> - Adopter les phytotechnologies comme pratiques de gestion d'eau; - Planter des biorétentions en chaîne dans les zones critiques desservies par l'égout unitaire; - Retirer les freins à la végétalisation des toits en augmentant la capacité portante minimale des nouveaux immeubles dans la réglementation; - Développer un programme d'intendance bénévole des biorétentions. 	<ul style="list-style-type: none"> - Communauté métropolitaine de Montréal - Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation - Arrondissements et municipalités liées - Citoyens - Experts en aménagement de biorétentions 	1, 2, 3, 4
6.	Se doter des outils et des méthodes nécessaires pour compléter le portrait des surverses	<ul style="list-style-type: none"> - Développer une méthode fiable de calcul des volumes de débordements d'égout; - Installer des stations d'échantillonnage pour évaluer la qualité des eaux rejetées; - Identifier les points critiques en amont et en aval; - Publier sous forme de bulletin un bilan annuel des surverses. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ingénieurs au Service de l'eau de la Ville 	2, 3

Tableau 6.1 Sommaire des recommandations spécifiques et des recommandations structurantes (suite)

Ordre	Recommandations structurantes/ Ville de Montréal	Mesures	Parties prenantes	Recommandations spécifiques correspondantes
7.	Préparer un plan de résilience pour faire face aux vagues de chaleur	<ul style="list-style-type: none"> - Compléter la carte en ligne de haltes fraîcheur; - Développer un vaste programme de végétalisation des cours d'école; - Exiger la végétalisation des toits des nouveaux immeubles à grande surface de plancher et ceux accueillant des groupes vulnérables dans le Règlement sur la construction et la transformation des bâtiments. 	<ul style="list-style-type: none"> - INSPQ - Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy - Ouranos - Communauté métropolitaine de Montréal - Centres de services scolaires - Arrondissements et municipalités liées - Organismes en urbanisme durable - Industrie de la construction - Ordres professionnels 	1, 3, 4
8.	Réaliser un programme de reboisement axé sur la déminéralisation et la création de corridors écologiques	<ul style="list-style-type: none"> - Analyser le territoire de l'agglomération pour identifier des sites à déminéraliser et reboiser pour établir une connectivité écologique entre les parcs; - Cibler des terrains vacants de l'Est de Montréal; - Développer une plateforme permettant aux citoyens de participer à l'effort de reboisement; - Fermer à la circulation les ruelles et d'autres lieux publics dans l'objectif de les reboiser; - Impliquer de grands propriétaires pour reboiser des terrains privés et conserver des sites d'intérêt écologique. 	<ul style="list-style-type: none"> - Communauté métropolitaine de Montréal - Scientifiques en foresterie - Conseil régional de l'environnement de Montréal - Propriétaires industriels - Propriétaires institutionnels - Arrondissements - Éco-quartiers - Citoyens 	1, 3

Tableau 6.1 Sommaire des recommandations spécifiques et des recommandations structurantes (suite et fin)

Ordre	Recommandations structurantes/ Ville de Montréal	Mesures	Parties prenantes	Recommandations spécifiques correspondantes
9.	Stimuler la participation citoyenne par l'instauration d'un budget participatif	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en place une structure d'accueil et d'analyse de projets participatifs pour la phase d'appel à projets; - Organiser un scrutin permettant aux Montréalais de voter en personne ou en ligne pour un des projets candidats; - Affecter une partie du budget municipal au budget participatif. 	<ul style="list-style-type: none"> - Citoyens - Centre d'écologie urbaine de Montréal - Solon 	3
10.	Développer un modèle de quartier montréalais inspiré du super ilot barcelonais	<ul style="list-style-type: none"> - Étudier le déroulement du projet pilote de « milieux de vie verts et actifs » dans Rosemont-La-Petite Patrie pour évaluer sa faisabilité à grande échelle; - Développer un super ilot montréalais et identifier des quartiers candidats; - Créer un pôle d'expertise en urbanisme durable (<i>think tank</i> ou laboratoire urbain) pour adapter les meilleures pratiques au contexte montréalais. 	<ul style="list-style-type: none"> - Arrondissement Rosemont-La-Petite-Patrie - Spécialistes en mobilité et aménagement durable - Citoyens 	1, 2, 3, 4

CONCLUSION

« Pendant que les nations parlent, les villes agissent » (Bloomberg, 12 mars 2013)

L'effondrement climatique n'est plus le spectre d'une menace lointaine. Loin d'être relégué aux oubliettes par la pandémie de COVID-19, le réchauffement planétaire a continué à préoccuper la communauté internationale avec des températures extrêmes observées en Californie (54,4 °C) et en Irak (53 °C) à l'été 2020 (Readfearn, 17 août 2020; Nguyen Dang, 1^{er} août 2020). Le Québec n'était pas en reste, puisque des records de chaleur ont été fracassés en mai, juin et juillet dans la partie sud de la province, de Montréal à Sept-Îles (Radio-Canada, 2020, 22 mai; MétéoMédia, 2020, 11 juillet). Les besoins en résilience se font plus urgents que jamais, surtout dans les villes où la morphologie structurelle exacerbe les impacts des aléas climatiques. La feuille de route vers la résilience climatique n'est cependant pas clairement définie. Si les objectifs de mitigation d'émissions de GES sont quantifiables, les mesures de résilience peuvent être plus difficiles à établir pour les dirigeants municipaux.

L'objectif de cet essai était de nourrir l'action par une proposition d'aménagement résilient d'un quadrilatère montréalais suite à un diagnostic de sa vulnérabilité climatique. L'analyse de cas est abordée dans le cadre de deux enjeux climatiques particulièrement critiques à Montréal : les surverses et les ICU. En respect avec l'approche théorique de l'écologie urbaine, trois INP ont été retenues pour rehausser la résilience du quartier : les aires de biorétention, les toits végétalisés et les arbres. Suite à une veille sur la stratégie de résilience montréalaise et les meilleures pratiques à l'étranger, l'auteure a développé une grille d'analyse de la vulnérabilité climatique à l'aide de données géoréférencées et d'observations d'images satellitaires. Trois quadrilatères montréalais qui présentaient déjà des signes de vulnérabilité ont ainsi été comparés et notés. Cet exercice discriminant a identifié le site le plus vulnérable selon des critères de vulnérabilités territoriale et sociale. La grille de cet essai se veut un outil accessible et reproductible de diagnostic de zones urbaines existantes. Elle permet de hiérarchiser les interventions dans un contexte d'urgence climatique et de limites budgétaires. Une municipalité peut l'adapter selon ses besoins. Elle peut par exemple établir des moyennes, des normes et des seuils de vulnérabilité climatique qui nécessitent des interventions.

Deux niveaux de recommandations ont été élaborés en respect avec le contexte de gouvernance partagée entre la Ville de Montréal et ses arrondissements. D'abord, quatre recommandations spécifiques ont été formulées à l'attention de l'arrondissement Ville-Marie, dans lequel se trouvait le quadrilatère le plus vulnérable. Un réaménagement de deux rues qui traversent le quartier a été proposé, à commencer par le retrait de voies routières et de stationnement. La reconfiguration recommandée comprend l'ajout de pistes cyclables, d'aires de biorétention et de fosses d'arbres

continues pour des rues partagées, sécuritaires et résilientes. Les besoins des groupes vulnérables du quadrilatère ont également été pris en compte puisque deux recommandations spécifiques visent à transformer une école primaire et une résidence pour personnes âgées en ilots de fraîcheur grâce à la végétalisation de la cour d'école et des toits.

Dans une approche systémique, des actions doivent être entreprises à l'échelle de la Ville de Montréal pour habiliter Ville-Marie et les autres arrondissements dans leurs efforts de résilience. L'analyse de la stratégie montréalaise a révélé que les progrès en la matière varient grandement selon la volonté des unités administratives. Six recommandations se rapportent donc aux compétences et aux pouvoirs législatifs de la Ville pour des actions fortes sur toute l'agglomération. Ces recommandations structurantes proposent entre autres d'adopter un plan d'action pour chaque aléa climatique, d'implanter massivement des phytotechnologies, de végétaliser les cours d'école, de reboiser les secteurs fortement minéralisés comme l'Est de Montréal et de créer un budget participatif. Les parties prenantes à inviter à la table de travail ont été identifiées pour un meilleur partage des connaissances et des responsabilités. L'implication des citoyens est aussi fondamentale pour assurer la pérennité des transformations des quartiers.

La pandémie de COVID-19 qui a bouleversé les habitudes d'occupation du territoire urbain a jeté un nouvel éclairage sur les besoins de résilience des Montréalais. Si cette dimension avait été incluse dans les objectifs de l'essai, les propositions d'aménagement et les recommandations structurantes auraient pu être différentes. Comme bien d'autres villes, Montréal se trouve à la croisée des chemins. À la nécessité d'atténuer les impacts des changements climatiques s'est ajouté l'impératif de distanciation sociale imposé par la pandémie. Au sommet de la pandémie, les trottoirs étaient devenus trop étroits, les pistes cyclables insuffisantes. Instinctivement, les citoyens se sont tournés vers la nature : ils ont envahi les parcs (Lavoie, 4 mai 2020). En quelques semaines, la mairie de Montréal a amorcé un rééquilibrage du partage de l'espace public trop longtemps dominé par la voiture. À l'instar de grandes capitales comme Buenos Aires et Londres, la Ville de Montréal a transféré des portions importantes de son réseau routier aux cyclistes et aux piétons, au grand dam de plusieurs automobilistes (Katz, 1er juin 2020). La Ville a participé à la rédaction d'un plan de relance post-pandémie « écologique et juste » par le biais de C40 Cities (*Cities Climate Leadership Group*), un réseau de villes visant la « carboneutralité » pour 2050. Ce plan reconnaît « le lien inextricable entre la santé des humains et de la planète ». (C40 Cities, 2020) En d'autres termes, la sauvegarde et le renforcement de la biodiversité urbaine répondent autant à la crise climatique qu'à une pandémie.

Des questions demeurent cependant. Comment les villes peuvent-elles concilier la résilience climatique et la résilience sanitaire dans leurs politiques et programmes? Par exemple, comment

peuvent-elles faire adopter la mobilité durable à des automobilistes qui associent transport collectif et infection? Comment les phytotechnologies et infrastructures naturelles peuvent-elles contribuer en temps de pandémie, que ce soit en facilitant la distanciation sociale ou en offrant un ilot de fraîcheur à des personnes malades ou vulnérables? Ce type de questions de recherche doit être abordé pour éviter un recul des villes et municipalités dans leurs engagements face à la résilience climatique. Car, si l'avenir de la pandémie actuelle est incertain, celui du réchauffement climatique ne fait aucun doute.

RÉFÉRENCES

- Agence France-Presse. (2017, 30 mai). La chaleur en ville pourrait grimper de huit degrés d'ici 2100. *Le Devoir*. <https://www.ledevoir.com/societe/environnement/499941/vers-des-villes-chaudes>
- Alcañiz, M., Outeiro, L., Francos, M. et Úbeda, X. (2018). Effects of prescribed fires on soil properties: A review. *Science of The Total Environment*, 613-614, 944-957.
- Ambrose, G., Das, K., Fan, Y. et Ramaswami, A. (2020). Is gardening associated with greater happiness of urban residents? A multi-activity, dynamic assessment in the Twin-Cities region, USA. *Landscape and Urban Planning*, 198, 103776.
- Anquez, P. et Herlem, A. (2011). *Les îlots de chaleur dans la région métropolitaine de Montréal: causes, impacts et solutions*. http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ARROND_RPP_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PDF-ILOTS.PDF
- Apparicio, P., Pham, T.-T.-H., Séguin, A.-M. et Dubé, J. (2016). Spatial distribution of vegetation in and around city blocks on the Island of Montreal: A double environmental inequity? *Applied Geography*, 76, 128-136.
- Banque mondiale. (2016). *Climate Hotspots: World Bank Climate Action Plan Supports Cities, Urban Poor*. <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2016/05/13/climate-hotspots-world-bank-climate-action-plan-supports-cities-urban-poor#:~:text=%E2%80%9CCities%20are%20on%20the%20front,Rural%20and%20Resilience%20Global%20Practice.&text=They%20are%20responsible%20>
- Bélanger, M. (2020, 15 juin). Gatineau: le règlement sur les toits verts est conforme. *Le Droit*. <https://www.ledroit.com/actualites/gatineau/gatineau-le-reglement-sur-les-toits-verts-est-conforme-a356e98732f4e10af1796717345318c3>
- Bloomberg, M. (2013, 12 mars). While nations talk, cities act. *Compte Twitter personnel de Mike Bloomberg, ancien maire de New York*.
- Bordeleau, S. (2020, 30 juillet). L'administration Plante se félicite de la popularité des voies actives sécuritaires. *Radio-Canada*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1723340/montrealais-adopte-voies-actives-securitaires-statistique-achalandage>
- Bronwyn, R., Dupras, J., Francoeur, X., Dumitru, M., Dagenais, D., Vachon, J., . . . Gonzalez, A. (2015). *Les infrastructures vertes: un outil d'adaptation aux changements climatiques pour le Grand Montréal*. <https://fr.davidsuzuki.org/wp-content/uploads/sites/3/2015/11/Infrastructures-vertes-outil-adaptation-changements-climatiques-Montre%CC%81al.pdf>
- Bush, J. et Doyon, A. (2019). Building urban resilience with nature-based solutions: How can urban planning contribute? *Cities*, 95, 102483.
- Bustinza, R., Lebel, G. et Dubé, M. (2019). *Surveillance des impacts des vagues de chaleur extrême sur la santé au Québec à l'été 2018*. <https://www.inspq.qc.ca/bise/surveillance-des-impacts-des-vagues-de-chaleur-extreme-sur-la-sante-au-quebec-l-ete-2018>
- Cariolet, J.-M., Vuillet, M. et Diab, Y. (2019). Mapping urban resilience to disasters – A review. *Sustainable Cities and Society*, 51, 101746.
- Chow, W., Chuang, W.-C. et Gober, P. (2012). Vulnerability to Extreme Heat in Metropolitan Phoenix: Spatial, Temporal, and Demographic Dimensions. *The Professional Geographer*, 64, 286-302.

- City Lab. (2015, 23 décembre). *Why Copenhagen has almost perfect water*.
<https://www.citylab.com/environment/2015/12/why-copenhagen-has-almost-perfect-water/421728/>
- Commission permanente sur l'eau, l'environnement, le développement durable et les grands parcs. (2017). *L'aménagement des bâtiments dans une perspective de développement durable sur le territoire de la Ville de Montréal*.
<https://www.donneesquebec.ca/recherche/fr/dataset/vmtl-commission-sur-l-eau-l-environnement-le-developpement-durable-et-les-grands-parcs/resource/446fb3f3-5423-4449-b414-7ba09d68a165>
- Communauté Métropolitaine de Montréal. (2018). *Commission de l'aménagement : recommandations relatives à l'adaptation des outils d'aménagement à la suite des inondations printanières de 2017 (Volet 3)*. http://cmm.qc.ca/wp-content/uploads/2019/04/20180514_CAM_ZI_Volet3_FinalrevLR.pdf
- Communauté métropolitaine de Montréal. (2019a). Données géoréférences - Indice canopée métropolitain. <http://observatoire.cmm.qc.ca/observatoire-grand-montreal/produits-cartographiques/donnees-georeferences/>
- Communauté métropolitaine de Montréal. (2019b). *Plan Archipel: un plan d'action métropolitain pour le Grand Montréal vert et bleu*. https://cmm.qc.ca/wp-content/uploads/2019/09/Plan_archipel_20190912.pdf
- Communauté métropolitaine de Montréal. (2020). *Grand Montréal en statistiques - Indice de canopée*. <http://observatoire.cmm.qc.ca/observatoire-grand-montreal/outils-statistiques-interactifs/grand-montreal-en-statistiques/?t=3&st=135&i=1638&p=2019&e=3>
- Conseil Régional de l'Environnement de Montréal. (2017). *Étude de stationnement dans la métropole: bâtir des connaissances pour une mobilité urbaine durable*.
https://cremtl.org/sites/default/files/upload/documents/publications/2017-02_stationnement_etude_le_stationnement_dans_la_metropole_web.pdf
- Conseil Régional de l'Environnement de Montréal. (2019). *Toitures végétalisées : Montréal est franchement en retard*. <https://cremtl.org/publication/editoriaux/2019/toitures-vegetalisees-montreal-est-franchement-en-retard>
- Crew, A., Gregory-Eaves, I. et Ricciardi, A. (2020). Distribution, abundance, and diversity of microplastics in the upper St. Lawrence River. *Environmental Pollution*, 260, 113994.
- C40 Cities. (2018). *City of Toronto Eco-Roof incentive program and green roof bylaw*.
https://www.c40.org/case_studies/city-of-toronto-s-eco-roof-incentive-program-and-green-roof-bylaw
- C40 Cities. (2020). *Executive Summary: C40 Mayors Agenda for a Green and Just Recovery*.
https://c40-production-images.s3.amazonaws.com/other_uploads/images/2590_C40_Mayors_Agenda_for_a_Green_and_Just_Recovery__Executive_Summary.original.pdf?1594819677
- Dale, A. G. et Frank, S. D. (2014). The Effects of Urban Warming on Herbivore Abundance and Street Tree Condition. *PLOS ONE*, 9(7), e102996.
- Delacour, E. (2019, 26 avril). Davantage de place pour les arbres de Rosemont. *Métro*.
<https://journalmetro.com/local/rosemont-la-petite-patrie/2313592/davantage-de-place-pour-les-arbres-de-rosemont/>

- Dong, J., Lin, M., Zuo, J., Lin, T., Liu, J., Sun, C. et Luo, J. (2020). Quantitative study on the cooling effect of green roofs in a high-density urban Area—A case study of Xiamen, China. *Journal of Cleaner Production*, 255, 120152.
- Duffé, J. (2018, 29 août). Paris: Voici la cour de récré du XXI^e siècle, plus fraîche et plus écolo. *Le Parisien*. <http://www.leparisien.fr/paris-75/paris-voici-la-cour-de-recre-du-xxie-siecle-plus-fraiche-et-plus-ecolo-29-08-2018-7869402.php>
- Dupras, J., Francoeur, X., Dagenais, D. et Messier, C. (2018). *La fin du gazon: comment complexifier les espaces verts du Grand Montréal pour s'adapter aux changements globaux*. https://fr.davidsuzuki.org/wp-content/uploads/sites/3/2018/11/DSF-La-fin-du-gazon_Final_2018-11-22.pdf
- Echols, K. R., Meadows, J. C. et Orazio, C. E. (2009). Pollution of Aquatic Ecosystems II: Hydrocarbons, Synthetic Organics, Radionuclides, Heavy Metals, Acids, and Thermal Pollution. Dans G. E. Likens (dir.), *Encyclopedia of Inland Waters* (p. 120-128). Academic Press.
- École Saint-Anselme. (s.d.). *Une école riche de ses gens*. <https://st-anselme.csdm.ca/ecole/#:~:text=Situ%C3%A9e%20%C3%A0%20la%20limite%20de,emploi%20%C3%A0%20valoriser%20chaque%20personne>.
- Environnement Canada. (2010). *L'effet des îlots de chaleur urbains : causes, impacts sur la santé et stratégies d'atténuation*. <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/sante-environnement-milieu-travail/rapports-publications/changement-climatique-sante/changements-climatiques-sante-bulletin-adaptation-numero-1-novembre-2009-reviser-novembre-2010-sante-canada-2009.html>
- Environnement Canada. (2020). *Réduire les îlots de chaleur urbains pour protéger la santé au Canada*. <https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/documents/services/health/publications/healthy-living/reducing-urban-heat-islands-protect-health-canada/Reducing-Urban-Heat-FR.pdf>
- Environnement Canada. (s.d.). Météo et qualité de l'air. https://www.canada.ca/content/dam/ecccc/migration/main/cas-aqhi/47327a59-009d-4ca2-aedd-29698305d4a0/poster_air-20health_fr.pdf
- Environmental Protection Agency. (2009). *Managing Stormwater with Low Impact Development Practices: Addressing Barriers to LID*. <https://www3.epa.gov/region1/npdes/stormwater/assets/pdfs/AddressingBarrier2LID.pdf>
- Environmental Protection Agency. (2016). *Stormwater trees: Technical memorandum*. https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-11/documents/final_stormwater_trees_technical_memo_508.pdf
- Estrada, F., Botzen, W. J. W. et Tol, R. S. J. (2017). A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts. *Nature Climate Change*, 7(6), 403-406.
- Équiterre. (s.d.). *Quand les fermes poussent sur les toits*. <https://www.equiterre.org/solution/bulletin-mem/quand-les-fermes-poussent-sur-les-toits>
- EUobserver. (2016, 10 octobre). *Copenhagen harbour swimming*. <https://euobserver.com/regions/134800>
- EXP. (s.d.a). *Prix d'excellence SPQ pour le projet de réaménagement de l'avenue Papineau*. <https://www.exp.com/fr/ressource/prix-dexcellence-sqp-pour-le-projet-de-reamenagement-de-lavenue-papineau/>

- EXP. (s.d.b). *Réaménagement de l'avenue Papineau*. <https://www.exp.com/fr/project/revitalization-of-papineau-avenue/>
- Field, R. D. et Parrott, L. (2017). Multi-ecosystem services networks: A new perspective for assessing landscape connectivity and resilience. *Ecological Complexity*, 32, 31-41.
- Fondation Espace pour la vie. (2018). *Portrait des infrastructures vertes et des ouvrages phytotechnologiques dans l'agglomération de Montréal*. https://fondationespacepurlavie.ca/wp-content/uploads/2019/08/Infrastructures-vertes_Ile-de-Montreal.pdf
- Furfari, S. (2012). *Politique et géopolitique de l'énergie: Une analyse des tensions internationales au XX^e siècle*. Editions TECHNIP.
- Gerbet, T. (2019, 12 novembre). Les VUS paieront plus cher pour se stationner dans le Plateau-Mont-Royal. *Radio-Canada*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1382288/stationnement-plateau-arondissement-vignette-place>
- Gobeille, L. (2018, 13 octobre). Gérer l'eau de pluie autrement. *Le Devoir*. <https://www.ledevoir.com/vivre/jardinage/538887/billet-gerer-l-eau-de-pluie-autrement>
- Goudreault, Z. (2019, 4 décembre). Des experts recommandent à Montréal de réduire le nombre de stationnements et d'élargir la tarification. *Journal Métro*. <https://journalmetro.com/actualites/montreal/2403419/des-experts-recommandent-a-montreal-de-reduire-le-nombre-de-stationnements-et-delargir-la-tarification/>
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. (2013). *Climate change 2013: The Physical Science Basis*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf
- Heinzlef, C., Robert, B., Hémond, Y. et Serre, D. (2020). Operating urban resilience strategies to face climate change and associated risks: some advances from theory to application in Canada and France. *Cities*, 104, 102762.
- Hénault-Ethier, L., Gobeille, L., Grégoire, G., Brisson, J., Elsener, J., Reeves, F., & Gosselin, P. (2019). *Le pouvoir inégalé du verdissement (à paraître)*. Québec Vert.
- Hoornweg, D., Sugar, L. et Trejos Gómez, C. L. (2011). Cities and greenhouse gas emissions: moving forward. *Environment and Urbanization*, 23(1), 207-227.
- Hübler, M., Klepper, G. et Peterson, S. (2008). Costs of climate change: The effects of rising temperatures on health and productivity in Germany. *Ecological Economics*, 68(1), 381-393.
- Institut national de santé publique du Québec. (2009). *Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains*. https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/988_mesuresilotschaleur.pdf
- Institut national de santé publique du Québec. (2016). Indice de défavorisation du Québec 2016. *Données Québec*. <https://www.donneesquebec.ca/recherche/fr/dataset/indice-de-defavorisation-du-quebec-2016>
- Institut national de santé publique du Québec. (2017). *Verdir les villes pour la santé de la population*. https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/2265_verdir_villes_sante_population.pdf
- Institut national de santé publique du Québec. (s.d.). *Îlots de chaleur*. <http://www.monclimatmasante.qc.ca/%C3%AEilots-de-chaleur.aspx>

- Institut national de santé publique du Québec et Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy. (2012). *Îlots de chaleur/fraicheur urbains et température de surface 2012*. <https://www.donneesquebec.ca/recherche/fr/dataset/ilots-de-chaleur-fraicheur-urbains-et-temperature-de-surface?fbclid=IwAR2CkVPz9-4Bt6J7rir8eknPdDW8sV9SZV7eN3fEh-gNui4lZs7oQa8kv6M>
- International Surfing Association. (2017). *Record-setting ISA world stand Up paddle (SUP) and paddleboard championship officially opened in Copenhagen*. <https://www.isasurf.org/record-setting-isa-world-standup-paddle-sup-and-paddleboard-championship-officially-opened-in-copenhagen-denmark/>
- Jaffe, E. (2015, 28 juillet). Narrower Traffic Lanes Are Safer and Still Move Plenty of Cars. *Bloomberg.Com*. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2015-07-28/a-new-study-finds-that-10-foot-traffic-lanes-are-safer-and-still-move-plenty-of-cars>
- Jalliffier-Verne, I., Leconte, R., Huaranga-Alvarez, U., Madoux-Humery, A.-S., Galarneau, M., Servais, P., Prévost, M. et Dorner, S. (2015). Impacts of global change on the concentrations and dilution of combined sewer overflows in a drinking water source. *Science of The Total Environment*, 508, 462-476.
- Jewell, N. (2015, 16 décembre). Hundreds of water-absorbing bioswales coming to Queens sidewalks. *Inhabitat*. <https://inhabitat.com/hundreds-of-water-absorbing-bioswales-coming-to-queens-sidewalks/>
- Katz, C. (2020, 1 juin). The pandemic has taken cars off urban streets. Will it last? *YaleEnvironment360*. <https://e360.yale.edu/features/the-pandemic-has-taken-cars-off-urban-streets.-will-it-last>
- Kolbe, K. (2019). Mitigating urban heat island effect and carbon dioxide emissions through different mobility concepts: Comparison of conventional vehicles with electric vehicles, hydrogen vehicles and public transportation. *Transport Policy*, 80, 1-11.
- Kolokotsa, D., Santamouris, M. et Zerefos, S. C. (2013). Green and cool roofs' urban heat island mitigation potential in European climates for office buildings under free floating conditions. *Solar Energy*, 95, 118-130.
- Labo Démocratie ouverte. (s.d.). *Budgets participatifs*. <https://www.labodemocratieouverte.org/budgets-participatifs/>
- Lai, L.-W. et Cheng, W.-L. (2009). Air quality influenced by urban heat island coupled with synoptic weather patterns. *Science of The Total Environment*, 407(8), 2724-2733.
- Lanza, K. et Stone, B. (2016). Climate adaptation in cities: What trees are suitable for urban heat management? *Landscape and Urban Planning*, 153, 74-82.
- Larousse, É. (s. d.). *Définitions : résilience - Dictionnaire de français Larousse*. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/r%C3%A9silience/68616>
- Lavoie, R. (2020, 04 mai). Retour du beau temps: les parcs montréalais pris d'assaut. *Journal de Montréal*. <https://www.journaldequebec.com/2020/05/04/en-imagesretour-du-beau-temps-les-parcs-montrealais-pris-dassaut-en-20-photos>
- Lax, S. et Peterson, E. W. (2009). Characterization of chloride transport in the unsaturated zone near salted road. *Environmental Geology*, 58(5), 1041-1049.

- Leal Filho, W., Echevarria Icaza, L., Neht, A., Klavins, M. et Morgan, E. A. (2018). Coping with the impacts of urban heat islands. A literature-based study on understanding urban heat vulnerability and the need for resilience in cities in a global climate change context. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1140-1149.
- Lebel, G., Dubé, M. et Bustinza, R. (2019). *Surveillance des impacts des vagues de chaleur extrême sur la santé au Québec à l'été 2018*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/bise/surveillance-des-impacts-des-vagues-de-chaleur-extreme-sur-la-sante-au-quebec-l-ete-2018>
- Lee, S. et Lee, B. (2014). The influence of urban form on GHG emissions in the U.S. household sector. *Energy Policy*, 68, 534-549.
- Lehnert, E. A., Wilt, G., Flanagan, B. et Hallisey, E. (2020). Spatial exploration of the CDC's Social Vulnerability Index and heat-related health outcomes in Georgia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 46, 101517.
- Léveillé, J.-T. (2019, 26 juin). Eaux contaminées: un "CSI Environnement" pour traquer les pollueurs. *La Presse+*. <https://www.lapresse.ca/actualites/environnement/201906/25/01-5231659-eaux-contaminees-un-csi-environnement-pour-traquer-les-pollueurs.php>
- Léveillé, J.-T. (2019, 22 novembre). 20 000 arbres seront plantés dans Rosemont d'ici 2025. *La Presse*. <https://www.lapresse.ca/actualites/grand-montreal/201911/21/01-5250721-20-000-arbres-seront-plantés-dans-rosemont-dici-2025.php>
- Li, C., Cao, Y., Zhang, M., Wang, J., Liu, J., Shi, H. et Geng, Y. (2015). Hidden Benefits of Electric Vehicles for Addressing Climate Change. *Scientific Reports*, 5(1), 1-4.
- Li, W. C. et Yeung, K. K. A. (2014). A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(1), 127-134.
- Limoges, S. (2017). *Arbres de rue montréalais: relations entre le diamètre à hauteur de poitrine et les conditions biophysiques, le cadre bâti et le statut socio-économique de la population* (Mémoire de maîtrise). Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec, Canada. <https://archipel.uqam.ca/9807/1/M15041.pdf>
- Visconti, L. (Réalisateur). (1963). *Le guépard* [Film].
- Madoux-Humery, A.-S., Dorner, S., Sauvé, S., Aboulfadl, K., Galarneau, M., Servais, P. et Prévost, M. (2016). The effects of combined sewer overflow events on riverine sources of drinking water. *Water Research*, 92, 218-227.
- Magalhaes, Z. (2020, 7 mai). Des "superblocs" pour donner la priorité aux piétons de Rosemont. *Journal Métro*. <https://journalmetro.com/uncategorized/2444429/des-superblocs-pour-donner-la-priorite-aux-pietons-de-rosemont-la-petite-patrie/>
- Magalhaes, Z. (2020, 8 juillet). Des saillies de trottoir écologiques dans Rosemont. *Journal de Rosemont*. <https://journalmetro.com/local/rosemont-la-petite-patrie/2479402/des-saillies-de-trottoir-ecologiques-dans-rosemont/?fbclid=IwAR3JuRL6uEmDTvBTiZupwurskof8Y8ID1xnfDATEKwyMaij9HlcofsiRKDw>
- Mailhot, A., Bolduc, S., Talbot, G. et Khedhaouira, D. (2014). *Gestion des eaux pluviales et changements climatiques*. https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportMailhot2014_FR.pdf

- Maire, S. (2019, novembre). Retour d'expérience: Comment agir? *Communication présentée au Festival Le Monde: Réinventer la Ville - Agir...vite!* Montréal, Québec, Canada.
- Maure, F., Dupras, J., Rayfield, B., Martins, K., Garbe, C., Auclair, J., . . . Gonzalez, A. (2018). *Le rôle des infrastructures naturelles dans la prévention des inondations dans la Communauté métropolitaine de Montréal*. <https://fr.davidsuzuki.org/wp-content/uploads/sites/3/2018/11/Le-ro%CC%82le-des-infrastructures-naturelles.pdf>
- McPhearson, T., Pickett, S. T. A., Grimm, N. B., Niemelä, J., Alberti, M., Elmqvist, T., Weber, C., Haase, D., Breuste, J. et Qureshi, S. (2016). Advancing Urban Ecology toward a Science of Cities. *BioScience*, 66(3), 198-212.
- McPherson, G., Peper, P., Simpson, J., Gardner, S., Vargas, K., Xiao, Q. (2007). Northeast Community Tree Guide : Benefits, Costs and Strategic Planning. *Center for Urban Forest Research, USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station*. Albany, CA, USA.
- McPherson, G., Xiao, Q. van Doorn, N., de Goede, J., Bjorkman, J., Hollander, A.,...Thorne, J. (2017). The structure, function and value of urban forests in California communities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 28, 43-53.
- Meerow, S. (2020). The politics of multifunctional green infrastructure planning in New York City. *Cities*, 100, 102621.
- Meerow, S., Newell, J. P. et Stults, M. (2016). Defining urban resilience: A review. *Landscape and Urban Planning*, 147, 38-49.
- Ménard, S. (2019, 5 octobre). Voici la carte des pires et meilleures cours d'école. *Le Journal de Montréal*. <https://www.journaldemontreal.com/2019/10/05/voici-la-carte-des-meilleures-et-des-pires-cours-decole>
- Mentens, J., Raes, D. et Hermy, M. (2006). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*, 77(3), 217-226.
- MétéoMédia. (2020, 11 juillet). *Chaleur et humidité : le Québec bat de nouveaux records*. <https://www.meteomedia.com/ca/nouvelles/article/chaleur-canicule-records-quebec>
- Métro. (2015, janvier 26). *Toits blancs: Rosemont-La Petite Patrie enclenche la deuxième phase*. <https://journalmetro.com/actualites-rosemont-la-petite-patrie/709083/toit-blanc-rosemont-la-petite-patrie-enclenche-la-deuxieme-phase/>
- Métro. (2019, 10 juin). *Quatre nouveaux bassins de rétention à Montréal pour réduire les risques d'inondations*. <https://journalmetro.com/actualites/montreal/2334107/quatre-nouveaux-bassins-de-retention-a-montreal-pour-reduire-les-risques-dinondations/>
- Miel Montréal. (s.d.). *Ateliers en milieu scolaire*. <http://mielmontreal.com/scolaire/ateliers-en-milieu-scolaire/>
- Millward, A. A. et Sabir, S. (2011). Benefits of a forested urban park: What is the value of Allan Gardens to the city of Toronto, Canada? *Landscape and Urban Planning*, 100(3), 177-188.
- Ministère de la Sécurité publique. (2018). *Plan d'action en matière de sécurité civile relatif aux inondations*. https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/fileadmin/Documents/securite_civile/inondation/Plan_action_inondations.pdf

- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2012). Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques.
http://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/plan_action/pacc2020.pdf
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2020). *Bilan de performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées pour l'année 2017*.
<http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/ouvrages-municipaux/bilan-performance-omaeu-2017.pdf>
- Ministère de l'Environnement et du Changement climatique du Canada. (2019). *Les vagues de chaleur extrême au Québec*. <https://donneesclimatiques.ca/etude-de-cas/les-vagues-de-chaleur-extreme-au-quebec/>
- Ministère des Affaires municipales et Occupation du territoire. (2014). *Évaluation de la performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux pour l'année 2013*.
https://www.mamh.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/ministere/acces_information/Diffusion_information/2017-122_rapport_ouvrage_municipaux_assainissement_eau_partie_5.pdf
- Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation. (2020). *Plan de protection du territoire face aux inondations: des solutions durables pour mieux protéger nos milieux de vie*.
https://www.mamh.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/amenagement_territoire/plan_protection_territoire_inondations/PLA_inondations.pdf
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs et Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire. (2011). *Guide de gestion des eaux pluviales: stratégies d'aménagement, principes de conception et pratiques de gestion optimales pour les réseaux de drainage en milieu urbain*.
<http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/pluviales/guide-gestion-eaux-pluviales.pdf>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2015). *Concentrations de médicaments, d'hormones et de quelques autres contaminants d'intérêt émergents dans le fleuve Saint-Laurent et dans trois de ses tributaires*. http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/publications/Resultats_2011-2016/Qualite_eau/10_1_2/Fiche_qualite_de_l_eau_fr_2015.pdf
- Mueller, N., Rojas-Rueda, D., Khreis, H., Cirach, M., Andrés, D., Ballester, J., Bartoll, X., Daher, C., Deluca, A., Echave, C., Milà, C., Márquez, S., Palou, J., Pérez, K., Tonne, C., Stevenson, M., Rueda, S. et Nieuwenhuijsen, M. (2020). Changing the urban design of cities for health: The superblock model. *Environment International*, 134, 105132.
- Nature-based Climate Solutions Summit. (s.d.). *Nature-based Climate Solutions Summit*.
<https://www.naturebasedclimatesolutions.ca/about>
- Nguyen Dang, J. (2020, 1 août). Canicule : le record mondial de température s'élève-t-il à 54°C ? *FranceInfo*. https://www.francetvinfo.fr/meteo/canicule/canicule-le-record-mondial-de-temperature-s-eleve-t-il-a-54c_4062403.html
- Nir, S. M. (2017, 23 mars). To the City, a Pollution Fighter. To Some Residents, an Eyesore. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2017/03/23/nyregion/bioswale-rain-gardens-new-york.html>
- Normandin, P.-A. (2019, 20 mai). Montréal en a assez du gazon. *La Presse*.
<https://www.lapresse.ca/actualites/environnement/201905/19/01-5226763-montreal-en-a-assez-du-gazon.php>

- O'Sullivan, F. (2017, 20 janvier). Barcelona's car-taming "Superblocks" meet resistance. *City Lab*. <https://www.citylab.com/transportation/2017/01/barcelonas-car-taming-superblocks-meet-resistance/513911/>
- Ouranos. (2011). *Analyse économique de l'adaptation aux changements climatiques en matière de drainage urbain au Québec: comparaison de diverses stratégies d'adaptation pour un secteur de Montréal*. https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportDesjarlais2011_FR.pdf
- Ouranos. (2015). *Vers l'adaptation: synthèse des connaissances des changements climatiques au Québec*. <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/SyntheseRapportfinal.pdf>
- Philadelphia Water Department. (2018). *Philadelphia Stormwater Management Guidance Manual V 3.1*. <https://www.pwdplanreview.org/manual-info/guidance-manual>
- Pincebourde, S., van Baaren, J., Rasmann, S., Rasmont, P., Rodet, G., Martinet, B. et Calatayud, P.-A. (2017). Chapter Nine - Plant–Insect Interactions in a Changing World. Dans N. Sauvion, D. Thiéry et P.-A. Calatayud (dir.), *Advances in Botanical Research* (vol. 81, p. 289-332). Academic Press.
- Pion, I. (2018, 25 février). Un documentaire sur le parc-école l'école Larocque. *La Tribune*. <https://www.latribune.ca/actualites/documentaire-sur-le-parc-ecole-lecole-larocque-afad993d2204f6d70b0976372edec27a>
- Precel, N. (2018, 5 avril). Council proposes pedestrian-friendly « superblocks » in Melbourne CBD. *The Age*. <https://www.theage.com.au/national/victoria/council-proposes-pedestrian-friendly-superblocks-in-melbourne-cbd-20180405-p4z7tu.html>
- Radio-Canada. (2014, 25 août). Baignade dans le fleuve: des millions de litres d'eau d'égout déversés. *Radio-Canada*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/681620/baignade-plage-fleuve-saint-laurent-deversement-eaux-usees-egouts-montreal>
- Radio-Canada. (2015, 12 mai). La destruction des milieux humides menace la région de Montréal. *Radio-Canada*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/720283/milieux-humides-montreal-banlieue>
- Radio-Canada. (2020, 22 mai). De multiples records de chaleur enregistrés jeudi dans l'Est-du-Québec. *Radio-Canada*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1707509/meteo-rechauffement-climat-ete-chaleur-chaud-bas-saint-laurent-gaspesie-cote-nord>
- Radio-Canada. (2020, 12 juin). Un immense potager sur le toit d'un IGA. *Radio-Canada*. <https://ici.radio-canada.ca/premiere/emissions/le-15-18/segments/entrevue/183608/jardin-epicerie-supermarche-ville-saint-laurent>
- Radio-Canada. (2020, 21 juin). Coup de chaleur en Sibérie où il a fait...38 degrés. *Radio-Canada*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1714056/climat-siberie-chaleur-temperature-russie-verkhoyansk-record>
- Readfearn, G. (2020, 17 août). Death Valley temperature rises to 54.4C – possibly the hottest ever reliably recorded. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/us-news/2020/aug/17/death-valley-temperature-rises-to-544c-possibly-the-hottest-ever-reliably-recorded>
- Régie du bâtiment du Québec. (2015). *Critères techniques visant la construction de toits végétalisés*. <https://www.rbq.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/Publications/francais/guide-criteres-techniques-construction-toits-vegetalises.pdf>

- Règlement sur la construction et la transformation de bâtiments*, Conseil municipal de la Ville de Montréal, règlement n° 11-018, adopté le 24 octobre 2011, entré en vigueur le 3 décembre 2011.
- Rio, A. B., Ashvin Dayal, Cristina Rumbaitis Del. (2012). From practice to theory: emerging lessons from Asia for building urban climate change resilience - Anna Brown, Ashvin Dayal, Cristina Rumbaitis Del Rio, 2012. *Environment and Urbanization*.
- Sadik-Khan, J. et Solomonow, S. (2016). *Streetfight: Handbook for an urban revolution*. New York: Penguin Books.
- Saint-Laurent. (2013). *Pour l'aménagement de stationnements "durables"*. http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/D_DURABLE_FR/MEDIA/DOCUMENTS/INFOREGLEMENTSTLAURENT.PDF
- Saint-Laurent. (s.d. a). *Règlement - Plantation et aménagement paysager*. <https://arr.saint-laurent.ca/AssistantPermis/Uploads/Am%c3%a9nagement%20Paysager%20F.pdf>
- Saint-Laurent. (s.d.b). *L'application des phytotechnologies dans l'arrondissement Saint-Laurent*. https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/Benramdane_5A.pdf
- Salerno, F., Gaetano, V. et Gianni, T. (2018). Urbanization and climate change impacts on surface water quality: Enhancing the resilience by reducing impervious surfaces. *Water Research*, 144, 491-502.
- Sanders, R. (2014). Suburban sprawl cancels carbon-footprint savings of dense urban cores. *Berkeley News*. <https://news.berkeley.edu/2014/01/06/suburban-sprawl-cancels-carbon-footprint-savings-of-dense-urban-cores/>
- Santropol Roulant. (s.d.). *Toit vert du roulant*. <https://santropolroulant.org/fr/quest-ce-que-le-roulant/agriculture-urbaine/toit-vert-du-roulant/>
- Schlör, H., Venghaus, S. et Hake, J.-F. (2018). The FEW-Nexus city index – Measuring urban resilience. *Applied Energy*, 210, 382-392.
- Schmitt, A. (2019, 6 septembre). Seattle May Try to Replicate Barcelona's 'Superblocks'. *Streetsblog USA*. <https://usa.streetsblog.org/2019/09/06/seattle-may-try-to-replicate-barcelonas-superblocks/>
- Shaker, R. R., Altman, Y., Deng, C., Vaz, E. et Forsythe, K. W. (2019). Investigating urban heat island through spatial analysis of New York City streetscapes. *Journal of Cleaner Production*, 233, 972-992.
- Shetty, N. H., Hu, R., Mailloux, B. J., Hsueh, D. Y., McGillis, W. R., Wang, M., Chandran, K. et Culligan, P. J. (2019). Studying the effect of bioswales on nutrient pollution in urban combined sewer systems. *Science of The Total Environment*, 665, 944-958.
- Shetty, N. H., Mailloux, B. J., McGillis, W. R. et Culligan, P. J. (2020). Observations of the seasonal buildup and washout of salts in urban bioswale soil. *Science of The Total Environment*, 722, 137834.
- Smargiassi, A., Goldberg, M. S., Plante, C., Fournier, M., Baudouin, Y. et Kosatsky, T. (2009). Variation of daily warm season mortality as a function of micro-urban heat islands. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 63(8), 659-664.
- Société de l'arbre du Québec et Centre québécois du droit de l'environnement. (2004). *Volontaire pour la conservation: guide de sensibilisation à la conservation volontaire des milieux naturels*.

- Société québécoise de phytotechnologie. (2018). *Les aires de biorétention - Fiche technique*. http://www.phytotechno.com/wp-content/uploads/2018/04/Fiche-bior%C3%A9tention-finale_LHEb-ilovepdf-compressed.pdf
- Société québécoise de phytotechnologie. (2015). *Les toits végétalisés - fiche technique*. http://www.phytotechno.com/wp-content/uploads/2018/02/SQP_Fiche_Toits-v%C3%A9g%C3%A9talis%C3%A9s-2.pdf
- Sproul, J., Wan, M. P., Mandel, B. H. et Rosenfeld, A. H. (2014). Economic comparison of white, green, and black flat roofs in the United States. *Energy and Buildings*, 71, 20-27.
- Stone, B. (2012). *The City and the Coming Climate : Climate Change in the Places We Live*. Georgia, États-Unis : Cambridge University Press.
- Talebi, A., Bagg, S., Sleep, B. E. et O'Carroll, D. M. (2019). Water retention performance of green roof technology: A comparison of canadian climates. *Ecological Engineering*, 126, 1-15.
- The Rethink Water network. (2013). *Rethinking urban water for new value in cities - Sustainable solutions for integrated urban water management*. <https://stateofgreen.com/en/uploads/2015/08/Rethinking-urban-water-for-new-value-in-cities.pdf?time=1598637952>
- Toronto and Region and Credit Valley Conservation Authorities. (2011). *Low Impact Development Stormwater Management Planning and Design Guide*. <https://cvc.ca/wp-content/uploads/2012/02/lid-swm-guide-chapter4-4.5-bioretenion.pdf>
- Transport for London. (2018). *Walking and cycling: The economic benefits*. <http://content.tfl.gov.uk/walking-cycling-economic-benefits-summary-pack.pdf>
- Trudel, R. (2020, 31 juillet). Le mois de juillet le plus chaud depuis 99 ans. *Journal de Montréal*. <https://www.journaldemontreal.com/2020/07/31/le-mois-de-juillet-le-plus-chaud-depuis-99-ans#:~:text=N'emp%C3%AAche%2C%20le%20mois%20de,'est%20quatre%20%5Bjours%5D>.
- Union des municipalités du Québec. (2019). *Les gouvernements de proximité mobilisés pour mieux affronter les changements climatiques*. <https://umq.qc.ca/publication/les-gouvernements-de-proximite-mobilises-pour-mieux-affronter-les-changements-climatiques/>
- United Nations Environment Programme. (2019). *Emissions gap report 2019: Global progress report on climate action*. <https://www.unenvironment.org/interactive/emissions-gap-report/2019/?fbclid=IwAR399g0hLrIYCDm8SmsRy2wcffCBSjwQnSs1di0C6ax9wds6f641f32L8Hg>
- Université du Québec à Montréal. (s.d.). *Pierre Dansereau, écologiste: rencontre de l'Homme avec la Nature*. http://www.archives-expopd.uqam.ca/autres/texte_complet.asp
- Vaz Monteiro, M., Doick, K. J., Handley, P. et Peace, A. (2016). The impact of greenspace size on the extent of local nocturnal air temperature cooling in London. *Urban Forestry & Urban Greening*, 16, 160-169.
- Ville de Barcelone. (2016). *The implementation of the Superblocks programme in Barcelona: Filling our streets with life*. https://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/sites/default/files/en_gb_MESURA%20GOVERN%20SUPERILLES.pdf

- Ville de Montréal. (2011). *Enjeux, orientations et objectifs pour une nouvelle stratégie de l'eau, version intégrale*.
http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/EAU_FR/MEDIA/DOCUMENTS/RAPPORT%20VERSION%20INTEGRALE.PDF
- Ville de Montréal. (2012). *Plan d'action canopée 2012-2021*. Direction des grands parcs et du verdissement.
https://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/GRANDS_PARCS_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PAC_JUIN_2012_FINAL.PDF
- Ville de Montréal. (2015). Cartographie du Schéma d'aménagement et de développement. *Échelle inconnue, produite par Mali Ilse Paquin*. Service de l'urbanisme et de la mobilité de la Ville de Montréal.
- Ville de Montréal. (2017a). *Plan d'adaptation aux changements climatiques de l'agglomération de Montréal 2015-2020 : les constats*.
http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/enviro_fr/media/documents/paccam_2015-2020_lesconstats.pdf
- Ville de Montréal. (2017b). *Plan d'adaptation aux changements climatiques de l'agglomération de Montréal 2015-2020 : les mesures*.
http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ENVIRO_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PACCA M_2015-020_LESMESURES.PDF
- Ville de Montréal. (2018a). *Portrait de la qualité des plans d'eau à Montréal*.
http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ENVIRO_FR/MEDIA/DOCUMENTS/VDM_BI LANRSM_2018_VF.PDF
- Ville de Montréal. (2018b). *Arrondissement de Villieray-Saint-Michel-Parc-Extension: profil sociodémographique, recensement 2016*.
http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/MTL_STATS_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PROFIL_SOCIOD%20MO_VILLERAY%20ST-MICHEL%20PARC-EX%202016.PDF
- Ville de Montréal. (2018c). *Arrondissement de Côte-des-Neiges-Notre-Dame-de-Grâce: profil sociodémographique, recensement 2016*.
http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/MTL_STATS_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PROFIL_SOCIOD%20MO_CDN-NDG%202016.PDF
- Ville de Montréal. (2018d). *Arrondissement de Ville-Marie: profil sociodémographique, recensement 2016*.
http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/MTL_STATS_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PROFIL_SOCIOD%20MO_VILLE-MARIE%202016.PDF
- Ville de Montréal. (2019a). *Infrastructures vertes sur l'avenue Papineau: projet pilote en gestion écologique des eaux pluviales*.
http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/TRANSPORTS_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PAPINEAU_2019-02-15_R00_WEB.PDF
- Ville de Montréal. (2019b). *Suivi du Plan d'adaptation aux changements climatiques de l'agglomération de Montréal 2015-2020*.
http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ENVIRO_FR/MEDIA/DOCUMENTS/SUIVIPLANADAPTATION2015-2020.PDF
- Ville de Montréal. (2019c). *Quartier Namur-Hippodrome: document d'information*.
https://ocpm.qc.ca/sites/ocpm.qc.ca/files/pdf/P107/3-1_document_dinformation_quartier_namur-hippodrome_final_1.pdf

- Ville de Montréal. (2020a). *Programme de gestion de la forêt urbaine: fiche technique*.
- Ville de Montréal. (2020b). *Plan d'urbanisme - Densité de construction*. Montréal - Données ouvertes. <https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/plan-urbanisme-densite>
- Ville de Montréal. (2020c). *Comment se protéger durant une canicule*.
<https://montreal.ca/articles/comment-se-proteger-durant-une-canicule>
- Ville de Montréal. (s.d.a). *Réseau d'égouts*.
http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=6497,54245574&_dad=portal&_schema=PORTAL
- Ville de Montréal. (s.d.b). *Surverses*.
http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=6497,54389572&_dad=portal&_schema=PORTAL
- Ville de Montréal. (s.d.c). *Refoulement d'égout*.
http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=6497,85605591&_dad=portal&_schema=PORTAL
- Ville de Montréal. (s.d.d). *Collecteurs*.
http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=6497,54249586&_dad=portal&_schema=PORTAL
- Ville de Montréal. (s.d.e). *La station d'épuration Jean R. Marcotte*.
http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=6497,54345571&_dad=portal&_schema=PORTAL
- Ville de Montréal. (s.d.f). *Glossaire*.
http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=7237,75263575&_dad=portal&_schema=PORTAL
- Ville de Montréal. (s.d.g). *Arbres - Entretien, recherches et réglementation*.
https://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=7377,94709942&_dad=portal&_schema=PORTAL
- Ville de Montréal. (s.d.h). *Vélo - Aménagements cyclables*.
https://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=8957,99637708&_dad=portal&_schema=PORTAL
- Ville de Montréal. (s.d.i). *Portail données ouvertes - Débordement*.
<http://donnees.ville.montreal.qc.ca/dataset/debordement>
- Ville de New York. (2010). *NYC Green infrastructure Plan*.
<https://www1.nyc.gov/assets/dep/downloads/pdf/water/stormwater/green-infrastructure/nyc-green-infrastructure-plan-2010.pdf>
- Ville de New York. (2013). *A stronger more resilient New York*. http://s-media.nyc.gov/agencies/sirr/SIRR_singles_Lo_res.pdf
- Ville de New York. (2019). *NYC Green infrastructure report 2018*.
<https://www1.nyc.gov/assets/dep/downloads/pdf/water/stormwater/green-infrastructure/gi-annual-report-2018.pdf>
- Ville de New York. (2019, 28 août). *City doubles size of largest green infrastructure program in nation, making NYC more resilient to global warming*. [Communiqué]
<https://www1.nyc.gov/office-of-the-mayor/news/406-19/city-doubles-size-largest-green-infrastructure-program-nation-making-nyc-more-resilient-to>

- Ville de Paris. (2017). Stratégie de résilience de Paris. <https://api-site-cdn.paris.fr/images/95335>
- Ville de Paris. (2019). *Cours Oasis: mallette "ressources" à l'usage des professionnels des établissements*.
<https://cdn.paris.fr/paris/2020/01/17/73c15214bed01637b9d552aa871fbcd3.pdf>
- Ville de Paris. (2020a). *Cours d'école "Oasis"*. <https://www.paris.fr/pages/les-cours-oasis-une-reponse-aux-defis-du-changement-climatique-6139>
- Ville de Paris. (2020b). *Canicule: toutes les infos*. <https://www.paris.fr/pages/la-canicule-5469>
- Ville de Paris. (2020c). *Paris Budget Participatif*. <https://budgetparticipatif.paris.fr/bp/>
- Ville de Toronto. (2013). *City of Toronto guidelines for biodiverse green roofs*.
<https://web.toronto.ca/wp-content/uploads/2017/08/8d24-City-of-Toronto-Guidelines-for-Biodiverse-Green-Roofs.pdf>
- Ville de Toronto. (s.d.a). *Green Roof Overview*. <https://www.toronto.ca/city-government/planning-development/official-plan-guidelines/green-roofs/green-roof-overview/>
- Ville de Toronto. (s.d.b). *City of Toronto Green Roof Bylaw*. <https://www.toronto.ca/city-government/planning-development/official-plan-guidelines/green-roofs/green-roof-bylaw/>
- Ville de Toronto. (s.d.c). *Eco-Roof Incentive Program*. <https://www.toronto.ca/services-payments/water-environment/environmental-grants-incentives/green-your-roof/>
- Ville de Vancouver. (2019a). *Adopt a catch basin keeps flowing for third year*.
<https://vancouver.ca/news-calendar/adopt-a-catch-basin-keeps-flowing-for-third-year.aspx>
- Ville de Vancouver. (2019b). *Rain city strategy*. <https://vancouver.ca/files/cov/rain-city-strategy.pdf>
- Ville-Marie. (2020a). *Programme particulier d'urbanisme des Faubourgs*.
http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ARROND_VMA_FR/MEDIA/DOCUMENTS/zPPU%20DES%20FAUBOURGS_VF2_WEB.PDF
- Ville-Marie. (2020b). *Piétonnalisations et rues familiales et actives*.
<https://montreal.ca/actualites/pietonnalisations-et-rues-familiales-et-actives>
- Ville-Marie. (s.d.). *Toiture et revêtement extérieur*.
https://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=7317,140625666&_dad=portal&_schema=PORTAL
- Vivre en Ville. (2014). *Verdir les quartiers, une école à la fois*.
https://vivreenville.org/media/285967/venv_2014_verdirlesquartiers_br.pdf
- Vivre en Ville. (s.d.). *Îlot de chaleur urbain*. <http://collectivitesviabiles.org/articles/ilots-de-chaleur-urbains.aspx>
- Wei, R., Song, D., Wong, N. H. et Martin, M. (2016). Impact of Urban Morphology Parameters on Microclimate. *Procedia Engineering*, 169, 142-149.
- Wintle, B. A., Legge, S. et Woinarski, J. C. Z. (2020). After the Megafires: What Next for Australian Wildlife? *Trends in Ecology & Evolution*, 35(9), 753-757
- Wohlleben, P. (2016). *The hidden life of trees: What they feel, how they communicate*. Vancouver: Greystone Books.
- World Wide Fund. (2018). *Le défi climatique des villes*. https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2018-07/20180704_Etude-defi-climatique-villes.pdf

Wu, J. (2014). Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions. *Landscape and Urban Planning*, 125, 209-221.

York, C. R. H. et Jacob, J. S. (2020). Chapter 8 - Harnessing Green Infrastructure for Resilient, Natural Solutions. Dans R. Colker (dir.), *Optimizing Community Infrastructure* (p. 147-164). Butterworth-Heinemann.

ANNEXE 1 – MÉTHODOLOGIE ET CALCULS POUR L'ÉVALUATION DES CRITÈRES

1. Absence de végétation

L'objectif étant de mesurer la vulnérabilité du quadrilatère, c'est l'absence de végétation qui sera évaluée. La première étape consistera à calculer la proportion de la superficie occupée par la végétation basse et haute du quadrilatère. Pour différencier la végétation haute de la végétation basse, cette dernière étant moins performante, chaque pourcent de végétation haute comptera pour 1 % alors que chaque pourcent de végétation basse comptera pour 0,5 %. Une fois que la proportion de la végétation aura été pondérée en fonction de sa hauteur, la proportion restante de la superficie permettra d'évaluer la vulnérabilité du quadrilatère due à l'absence de végétation.

Les proportions ont été obtenues à partir des couches de données géoréférencées de la carte de l'indice de canopée de la CMM. Les images issues du système d'information géographique présentent les quadrilatères à l'intérieur d'un carré noir et une zone tampon de 300 m autour de chaque quadrilatère.

a. Quadrilatère Saint-Anselme

Proportion de la végétation haute : 23,6 %

Végétation basse : 5,1 %, après pondération : 2,55 %

La proportion pondérée de la végétation est donc de 26,15 % (23,6 % + 2,55 %).

La proportion du quadrilatère qui est vulnérable est donc de 73,85 %. Le ratio du quadrilatère est de 0,74.

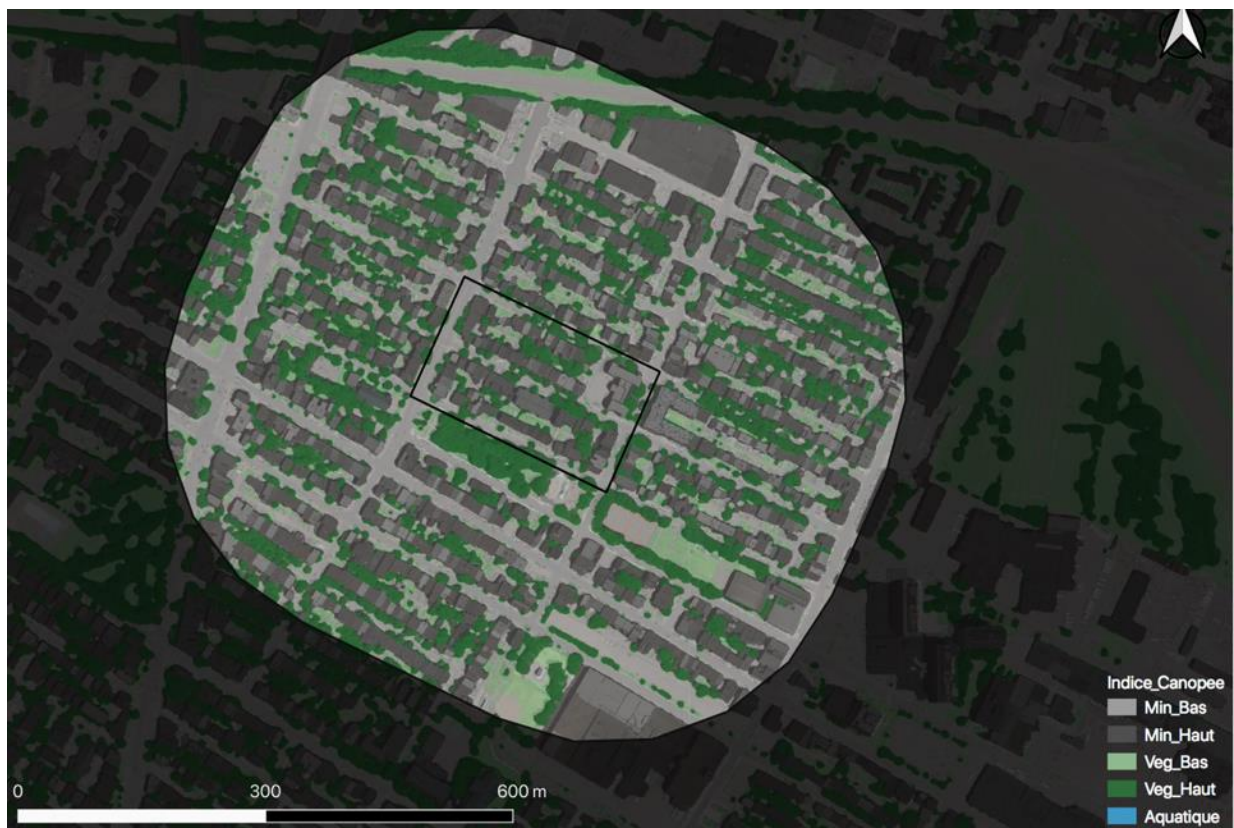


Figure 1.a Carte de l'indice de canopée du quadrilatère Saint-Anselme (à l'intérieur du carré noir)
(Reproduit avec permission)

b. Quadrilatère Saint-Gabriel-Lalemant

Proportion de la végétation haute : 25,8 %

Végétation basse : 4,9 %, après pondération : 2,45 %

La proportion pondérée de la végétation est donc de 28,25 % (25,8 % + 2,45 %).

La proportion du quadrilatère qui est vulnérable est donc de 71,75 %. Le ratio du quadrilatère est de 0,72.

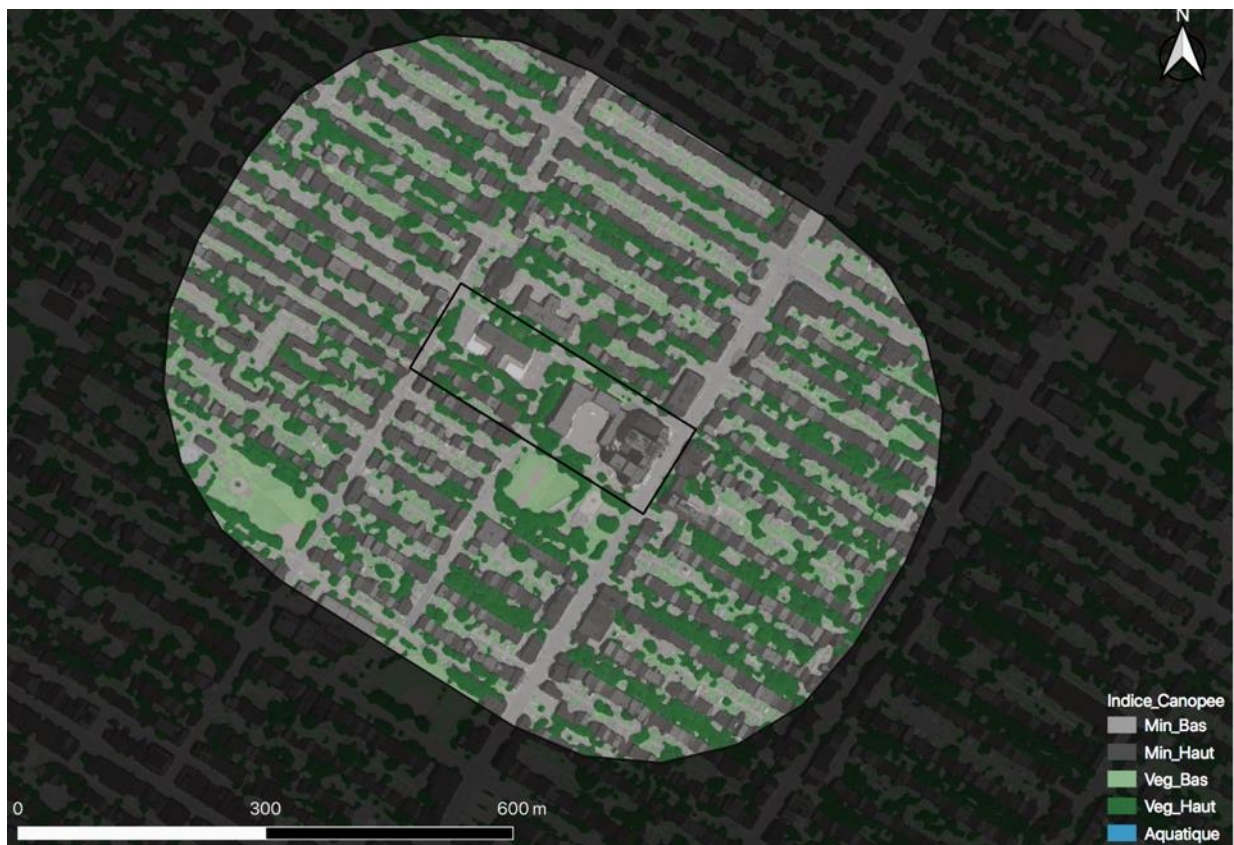


Figure 1.b Carte de l'indice de canopée du quadrilatère Saint-Gabriel-Lalemant (à l'intérieur du carré noir) (Reproduit avec permission)

c. Quadrilatère des Nations

Proportion de la végétation haute : 31,8 %

Végétation basse : 11,4 %, après pondération : 5,7 %

La proportion pondérée de la végétation est donc de 37,5 % (31,8 % + 5,7 %).

La proportion du quadrilatère qui est vulnérable est donc de 62,5 %. Le ratio du quadrilatère est de 0,63.

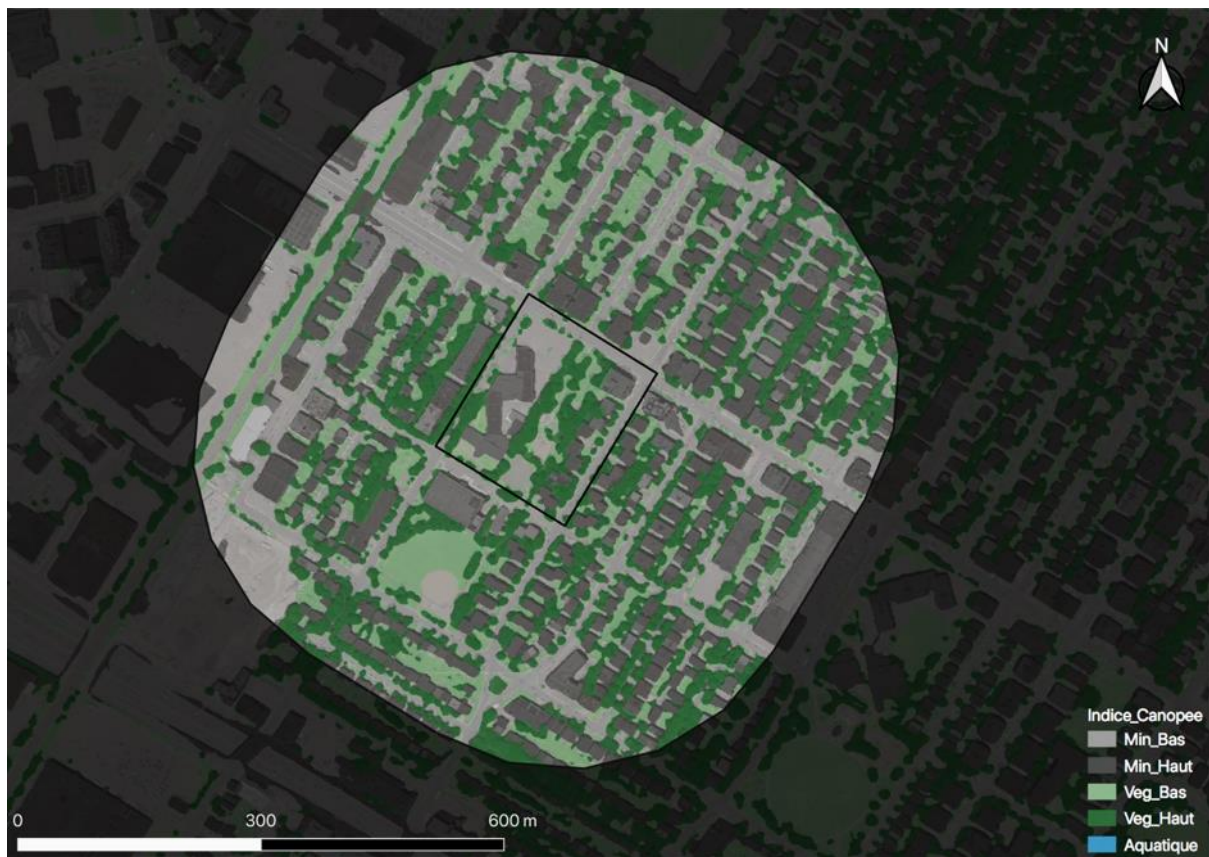


Figure 1.c Carte de l'indice de canopée du quadrilatère des Nations (à l'intérieur du carré noir)
(Reproduit avec permission)

d. Calculs notes

L'équation suivante permettra de distribuer les valeurs sur une échelle de 0 à 1.

$$\text{Note} = \frac{\text{valeur} - \text{valeur minimale}}{\text{valeur maximale} - \text{valeur minimale}}$$

$$\text{QSA} : (0,74 - 0,63) / 0,74 - 0,63 = 1$$

$$\text{QSG} : (0,72 - 0,63) / 0,74 - 0,63 = 0,81$$

$$\text{QdN} : (0,63 - 0,63) / 0,74 - 0,63 = 0$$

2. Indice de température de surface

Trois indices moyens pour les trois quadrilatères ont été produits à l'aide du logiciel de système d'information géographique QGIS. Les moyennes et les cartes ont été produites à partir des données géoréférencées de l'INSPQ. Les cartes incluent les quadrilatères à

l'intérieur d'un carré noir et une zone de tampon de 300 m. Les moyennes réfèrent aux températures à l'intérieur des quadrilatères seulement.

a. Quadrilatère Saint-Anselme

Indice moyen de la température de surface du quadrilatère : 8,00

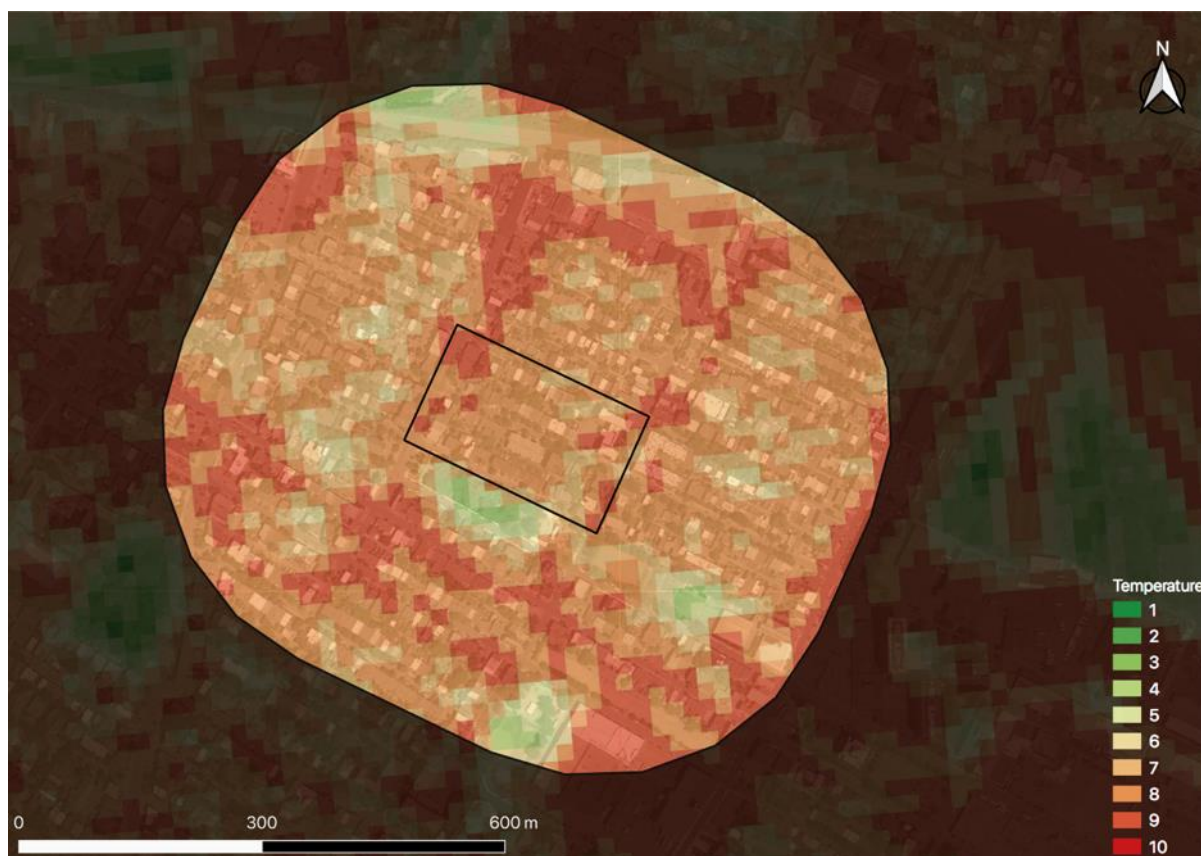


Figure 2.a Carte de l'indice de température de surface du quadrilatère Saint-Anselme (Reproduit avec permission)

b. Quadrilatère Saint-Gabriel-Lalemant

Indice moyen de la température de surface du quadrilatère : 7,79

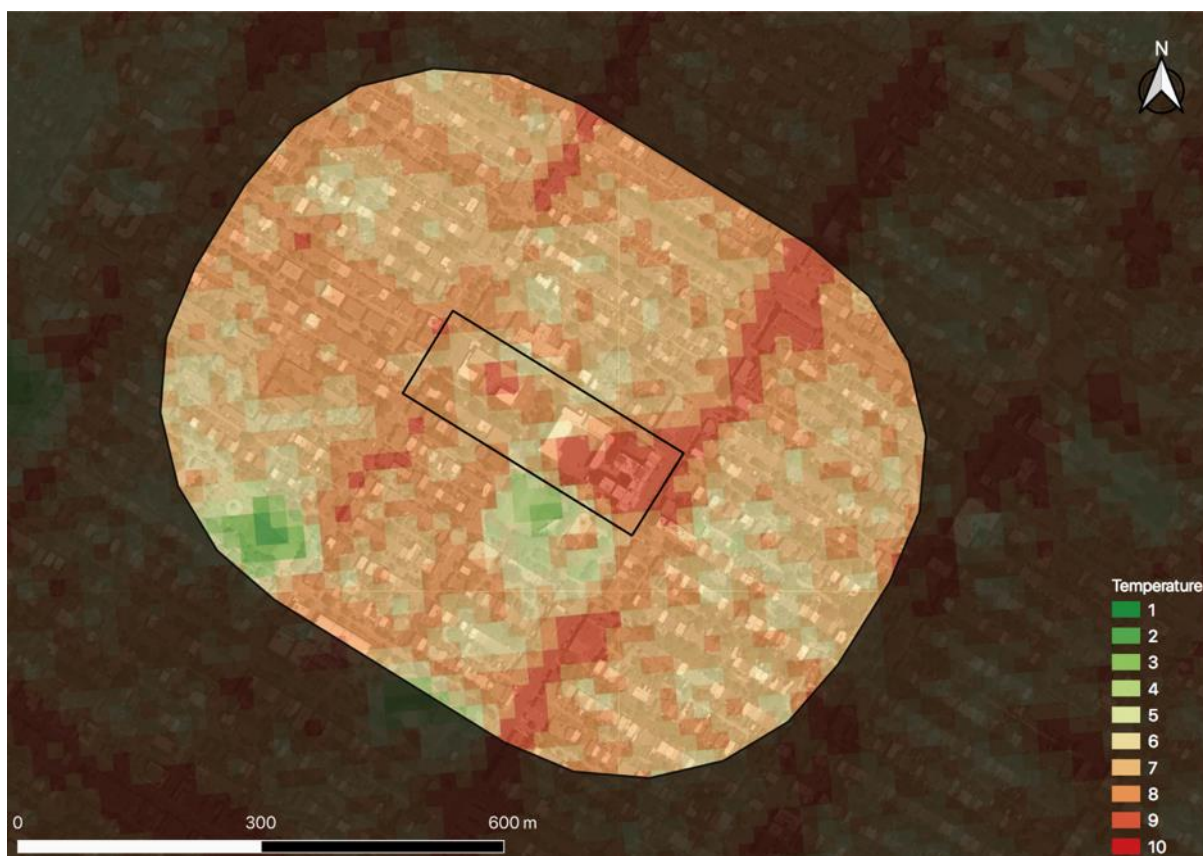


Figure 2.b Carte de l'indice de température de surface du quadrilatère Saint-Gabriel-Lalemant
(Reproduit avec permission)

c. Quadrilatère des Nations

Indice moyen de la température de surface du quadrilatère : 6,49

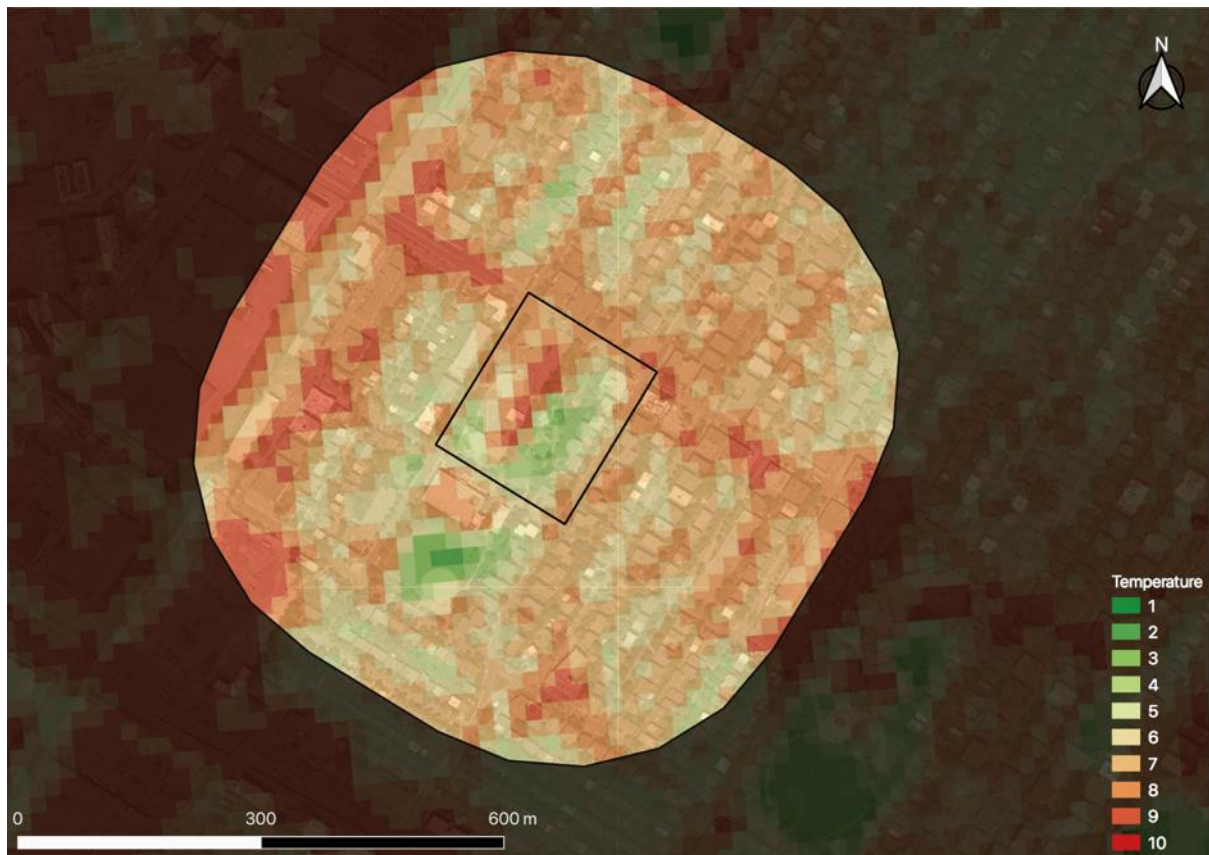


Figure 2.c Carte de l'indice de température de surface du quadrilatère des Nations (Reproduit avec permission)

d. Calculs notes

L'équation suivante permettra de distribuer les valeurs sur une échelle de 0 à 1.

$$\text{Note} = \frac{\text{valeur} - \text{valeur minimale}}{\text{valeur maximale} - \text{valeur minimale}}$$

$$\text{QSA} : (8,00 - 6,49) / (8,00 - 6,49) = 1$$

$$\text{QSG} : (7,79 - 6,49) / (8,00 - 6,49) = 0,86$$

$$\text{QdN} : (6,49 - 6,49) / (8,00 - 6,49) = 0$$

3. Sensibilité physique aux pluies abondantes

La proportion des zones à risque d'accumulation d'eaux de ruissellement sera obtenue pour chaque quadrilatère à partir des données ouvertes géoréférencées de la Ville de Montréal. Elles sont mises à la disposition du grand public sur son portail des données ouvertes. Les cartes incluent les quadrilatères à l'intérieur d'un carré noir et une zone de tampon de 300 m. Les proportions se rapportent à l'intérieur des quadrilatères seulement.

a. Quadrilatère Saint-Anselme

La proportion de la superficie du quadrilatère à risque d'accumulation d'eau est de 69,5 %. Le ratio est donc de 0,70



Figure 3.a Carte de la sensibilité physique du quadrilatère Saint-Anselme aux pluies abondantes
(Reproduit avec permission)

b. Quadrilatère Saint-Gabriel-Lalemant

La proportion de la superficie du quadrilatère à risque d'accumulation d'eau est de 95 %. Le ratio est de 0,95

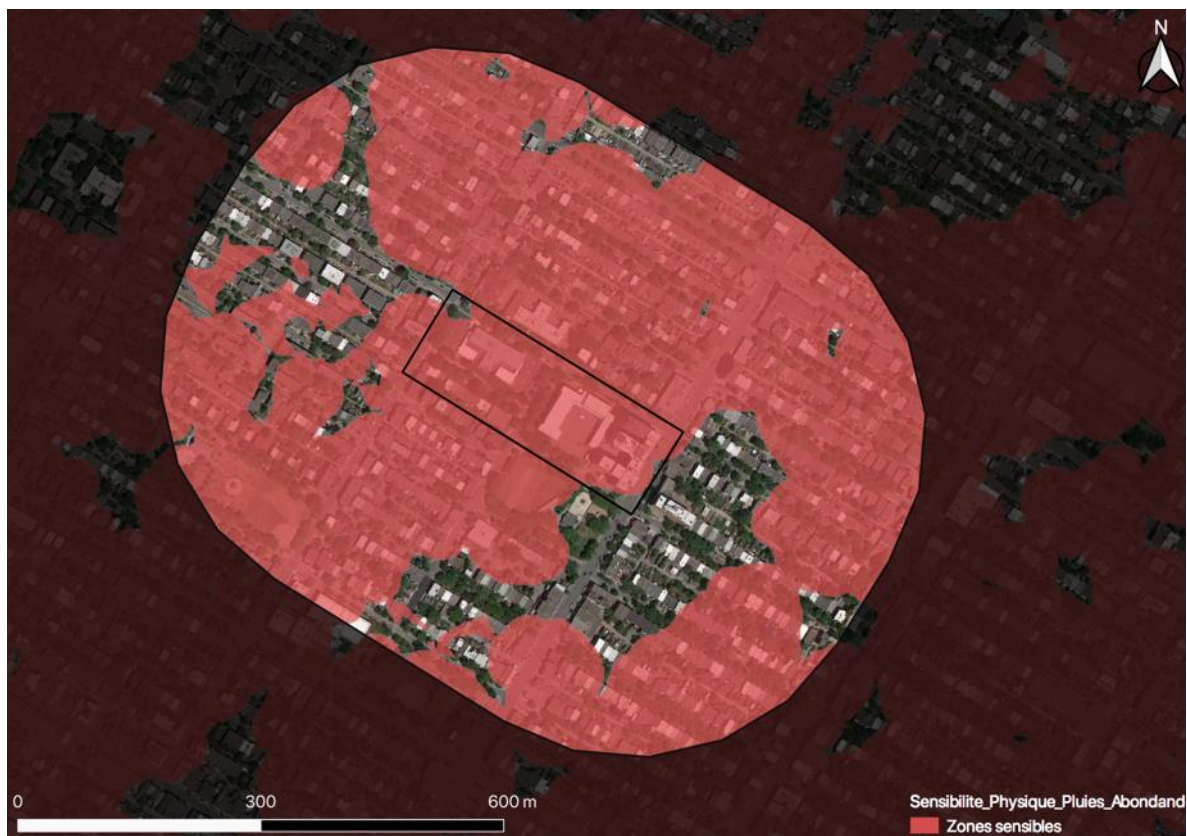


Figure 3.b Carte de la sensibilité physique du quadrilatère Saint-Gabriel-Lalemant aux pluies abondantes (Reproduit avec permission)

c. Quadrilatère des Nations

La proportion de la superficie du quadrilatère à risque est de 62,9 %. Le ratio est de 0,63



Figure 3.c Carte de la sensibilité physique du quadrilatère des Nations aux pluies abondantes
(Reproduit avec permission)

d. Calculs notes

L'équation suivante permettra de distribuer les valeurs sur une échelle de 0 à 1.

$$\text{Note} = \frac{\text{valeur} - \text{valeur minimale}}{\text{valeur maximale} - \text{valeur minimale}}$$

$$\text{QSA} : (0,70-0,63) / (0,95-0,63) = 0,22$$

$$\text{QSG} : (0,95-0,63) / (0,95-0,63) = 1$$

$$\text{QdN} : (0,63-0,63) / (0,95-0,63) = 0$$

4. Densité des surfaces minérales

Un ratio sera produit à partir des surfaces minéralisées de chaque quadrilatère. Les calculs seront faits à partir des superficies des surfaces minéralisées basses et hautes obtenues à partir des données géoréférencées de l'indice de canopée de la CMM. La première étape consiste à pondérer les surfaces ≥ 3 m par le coefficient 3. Ce coefficient a été choisi pour représenter le caractère résidentiel des quadrilatères; il est considéré que les immeubles à logements d'au moins neuf mètres de hauteur constituent l'essentiel des surfaces hautes. Les

surfaces < à 3 m conserveront leur proportion initiale. Les pourcentages seront ensuite ramenés à un ratio inférieur ou supérieur à 1.

Pour les cartes, voir les figures 1.a, 1.b et 1.c.

a. Quadrilatère Saint-Anselme

Surfaces \geq à 3 m : 42,07 %. La proportion pondérée est de 126,21 %.

Surfaces < à 3 m : 29,24 %.

La proportion totale pondérée des surfaces minéralisées est de 155,45 %. Ramenée en ratio, elle représente 1,55.

b. Quadrilatère Saint-Gabriel-Lalemant

Surfaces \geq à 3 m : 34,69 %. La proportion pondérée est de 104,07 %.

Surfaces < à 3 m : 34,64 %.

La proportion totale pondérée des surfaces minéralisées est de 138,71 %. Ramenée en ratio, elle représente 1,39.

c. Quadrilatère des Nations

Surfaces \geq à 3 m : 22,9 %. La proportion pondérée est de 68,7 %.

Surfaces < à 3 m : 33,92 %.

La proportion totale pondérée des surfaces minéralisées est de 102,62 %. Ramenée en ratio, elle représente 1,02.

d. Calculs notes

L'équation suivante permettra de distribuer les valeurs sur une échelle de 0 à 1.

$$\text{Note} = \frac{\text{valeur} - \text{valeur minimale}}{\text{valeur maximale} - \text{valeur minimale}}$$

$$\text{QSA} : (1,55 - 1,02) / 1,55 - 1,02 = 1$$

$$\text{QSG} : (1,39 - 1,02) / 1,55 - 1,02 = 0,69$$

$$\text{QdN} : (1,02 - 1,02) / 1,55 - 1,02 = 0$$

5. Albédo des toits

Il s'agit de calculer la proportion de toits noirs, de toits gris et de toits blancs de la superficie totale des toits de chaque quadrilatère. Une pondération similaire au critère d'absence de végétation sera effectuée. Pour respecter la méthodologie de la notation, les toits noirs

doivent obtenir le maximum de points puisqu'ils augmentent la vulnérabilité urbaine. Dans cette logique, chaque pourcent de toits noirs équivaudra à 1 %, c'est-à-dire qu'il conservera son pourcentage. Le nombre de toits blancs ne sera pas comptabilisé comme ajoutant à la vulnérabilité, donc un pourcent de toits blancs équivaudra à 0 %. Pour ce qui est des toits gris, c'est-à-dire les toits qui ne peuvent être classés ni blancs, ni noirs, chacun de leur pourcent équivaudra à la moitié d'un toit noir, donc 0,5 %. Les mesures suivantes sont en m². Les mesures des superficies seront faites à l'aide de l'outil « Mesurer une distance » sur Google Maps, qui permet également de mesurer les superficies. La comptabilisation a été faite avec le logiciel Excel.

a. Quadrilatère Saint-Anselme

Calculs superficie des toits noirs grâce à Google Maps.

7 473

Superficie toits gris : 2285

Calculs superficie des toits blancs.

1 324 (école) + 219 + 67 + 117 + 74 + 87 + 85 + 111 + 104 + 128 + 72 + 291 + 12 + 5 =
2 696

Superficie totale des toits : 12 454

Proportion des toits noirs : 60 % ou 0,60. La proportion pondérée est de 60 % ou 0,60.

Proportion des toits gris : 18 % ou 0,18. La proportion pondérée est de 9 % ou 0,9

Proportion des toits blancs : 22 % ou 0,22. La proportion pondérée est de 0 %.

Le ratio de ce quadrilatère est donc de 0,69 (0,60 + 0,0917 + 0)

b. Quadrilatère Saint-Gabriel-Lalemant

Toits noirs : 1894

Toits gris : 1679

Toits blancs : 6056

Superficie totale : 9629

Proportion des toits noirs : 20 % ou 0,20. La proportion pondérée est de 20 % ou 0,20.

Proportion des toits gris : 17 % ou 0,17. La proportion pondérée est de 8,5 % ou 0,09

Proportion des toits blancs : 63 % ou 0,63. La proportion pondérée est de 0 %.

Le ratio de ce quadrilatère est donc de 0,29

c. Quadrilatère des Nations

Toits noirs : 3288

Toits gris : 4152

Toits blancs : 266

Superficie totale : 7706

Proportion des toits noirs : 43 % ou 0,43. La proportion pondérée est de 0,43.

Proportion des toits gris : 54 % ou 0,54. La proportion pondérée est de 27 % ou 0,27

Proportion des toits blancs : 3 % ou 0,3. La proportion pondérée est de 0 %.

La valeur de ce quadrilatère est donc de 0,7

d. Calculs notes

L'équation suivante permettra de distribuer les valeurs sur une échelle de 0 à 1.

$$\text{Note} = \frac{\text{valeur} - \text{valeur minimale}}{\text{valeur maximale} - \text{valeur minimale}}$$

$$\text{QSA} : (0,69-0,29) / 0,70-0,29 = 0,98$$

$$\text{QSG} : (0,29-0,29) / 0,70-0,29 = 0$$

$$\text{QdN} : (0,70-0,29) / 0,70-0,29 = 1$$

6. Indice de réchauffement des voies routières

Un ratio de réchauffement sera créé à partir de la superficie des rues réservées aux voitures dans chaque quadrilatère. La superficie de chaque rue sera multipliée par le nombre de voies respectif puisqu'un nombre plus grand de voies augmente le potentiel de réchauffement. Les superficies pondérées seront comptabilisées et par la suite divisée par la superficie totale (et non-pondérée) des rues. Plus le ratio sera élevé, plus le potentiel de réchauffement dû à la circulation sera considéré comme élevé.

Les superficies des rues seront calculées avec l'outil « Mesurer une distance » de Google Maps.

a. Quadrilatère Saint-Anselme

Équation pour obtenir la superficie pondérée : Superficie X Nombre de voies

Superficie rue Bercy (m ²)	Nombre de voies	Indice (superficie pondérée)
2 484	1	2 484
Rue Hogan		
2 562	1	2 562
Rue Gascon		
2 226	1	2 226
Rue Hochelaga		
2 691	4	10 764
Rue de Rouen		
1 785	2	3 570
11 748		21 606

Calcul pour obtenir le ratio : $21\,606/11\,748 = 1,84$

b. Quadrilatère Saint-Gabriel-Lalemant

Superficie rue Jean-Talon m ²	Nombre de voies	Superficie pondérée
1 938	4	7 752
Rue Garnier		
2 903	1	2 903
Rue Everett		
1 221	2	2 442
Rue de Lanaudière		
1 421	1	1 421
Rue de Castelnau		
1 176	2	2 352
Rue Rousselot		
15 534	1	15 534
22 255		32 404

Calcul pour obtenir le ratio : $32\,404/22\,255 = 1,46$

c. Quadrilatère des Nations

Superficie	Nombre de voies	Superficie pondérée
Avenue Victoria		

	2 485	2	4 970
Avenue Barclay			
	2 370	2	4 740
Rue Vézina			
	2 486	2	4 972
	7 341		14 682

Calcul pour obtenir le ratio : $14\,682 / 7\,341 = 2$

d. Calculs notes

L'équation suivante permettra de distribuer les valeurs sur une échelle de 0 à 1.

$$\text{Note} = \frac{\text{valeur} - \text{valeur minimale}}{\text{valeur maximale} - \text{valeur minimale}}$$

$$\text{QSA} : (1,84 - 1,46) / (2 - 1,46) = 0,70$$

$$\text{QSG} : (1,46 - 1,46) / (2 - 1,46) = 0$$

$$\text{QdN} : (2 - 1,46) / (2 - 1,46) = 1$$

7. Service de résilience du quadrilatère au quartier

Contrairement aux autres critères, celui-ci doit calculer la résilience climatique du quadrilatère au lieu de sa vulnérabilité. L'intérêt de ce critère est de déterminer si un quadrilatère offre des services de rafraîchissement et d'interception des eaux pluviales à une population environnante vulnérable. Ainsi, ce critère permet de reconnaître l'importance que peut jouer un quadrilatère d'apparence peu vulnérable dans un quartier qui l'est davantage. Ce critère permet d'éviter de négliger les zones qui offrent un espace végétal rare dans un quartier davantage minéralisé.

La proportion de la végétation haute et basse sera donc calculée et pondérée pour chaque quadrilatère et sa zone tampon de 300 m à partir des données géoréférencées de l'indice de canopée de la CMM. Comme pour le critère « Absence de végétation », la proportion de végétation haute sera pondérée avec le coefficient 1 et la végétation basse, avec le coefficient 0,5. Un ratio sera produit en divisant la proportion végétale du quadrilatère par la proportion végétale de la zone tampon. Plus le ratio sera élevé, plus le quadrilatère sera considéré comme important pour le quartier et un candidat intéressant pour un réaménagement. Les valeurs seront par la suite normalisées sur une échelle de 0 à 1.

Pour les repères visuels, voir les figures 1.a, 1.b et 1.c.

a. Quadrilatère Saint-Anselme

La proportion pondérée de la végétation du quadrilatère est de 26,15 %

Calculs de la pondération de la proportion végétale de la zone tampon.

Proportion de la végétation haute : 23,18 %

Proportion de la végétation basse : 6,97 %. Proportion pondérée : 3,49 %

La proportion pondérée de la végétation dans la zone tampon est de 26,67 %

Calcul ratio de végétation du quadrilatère en rapport à sa zone tampon :

$$26,15 / 26,67 = 0,98$$

b. Quadrilatère Saint-Gabriel-Lalemant

La proportion pondérée de la végétation du quadrilatère est de 28,25 % (25,8 % + 2,45 %) (Voir Annexe A, 3. a).

Calculs de la pondération de la proportion végétale de la zone tampon.

Proportion de la végétation haute : 23,28 %

Proportion de la végétation basse : 12,76 %. Proportion pondérée : 6,38 %

La proportion pondérée de la végétation dans la zone tampon est de 29,66 %

Calcul ratio de végétation du quadrilatère en rapport à sa zone tampon :

$$28,25 / 29,66 = 0,95$$

c. Quadrilatère des Nations

La proportion pondérée de la végétation du quadrilatère est de 37,5 %

Calculs de la pondération de la proportion végétale de la zone tampon.

Proportion de la végétation haute : 24,94 %

Proportion de la végétation basse : 13,89 %. Proportion pondérée : 6,95 %

La proportion pondérée de la végétation dans la zone tampon est de 31,89 %

Calcul ratio de végétation du quadrilatère en rapport à sa zone tampon :

$$37,5 / 31,89 = 1,18$$

d. Calculs notes

L'équation suivante permettra de distribuer les valeurs sur une échelle de 0 à 1.

$$\text{Note} = \frac{\text{valeur} - \text{valeur minimale}}{\text{valeur maximale} - \text{valeur minimale}}$$

$$\text{QSA} : (0,98 - 0,95) / (1,18 - 0,95) = 0,13$$

$$\text{QSG} : (0,95-0,95) / (1,18-0,95) = 0$$

$$\text{QdN} : (1,18-0,95) / (1,18-0,95) = 1$$

8. Présence de groupes vulnérables aux canicules

La comptabilisation des individus faisant partie des groupes vulnérables se fera à partir des données secondaires disponibles. Puisque les trois quadrilatères occupent sensiblement la même superficie, il ne sera pas nécessaire de produire un ratio. Le quadrilatère qui aura le plus grand nombre d'individus vulnérables connus sur son territoire obtiendra la note de 1. Le nombre d'élèves pour chaque école a été obtenu à partir des informations comprises dans la carte des cours d'écoles évaluées par le Journal de Montréal, et validé auprès du secrétariat des établissements par l'auteur. Puisque les écoles étaient fermées dues à la pandémie de la COVID-19, il n'a pas été possible de confirmer le nombre d'élèves avec tous les établissements; le cas échéant, cela a été indiqué à l'aide d'une référence. D'autre part, la présence d'autres groupes vulnérables sera répertoriée à l'aide de Google Maps, par exemple un centre de la petite enfance ou une résidence pour personnes âgées.

Puisque les enfants ne sont pas aussi vulnérables que les aînés face aux vagues de chaleur, il est important de refléter la plus grande fragilité des personnes âgées pour ce critère. Pour ce faire, les données d'une recherche américaine portant sur la mortalité dans ces deux groupes d'âges lors de vagues de chaleur seront analysées pour établir un coefficient de pondération. Cette recherche de (Lehnert et al., 2020) indique que les jeunes de 17 ans et moins dans l'état de Géorgie représentaient 14,89 % des décès dus à un choc thermique de 2002 à 2008, alors qu'ils représentaient 26,47 % de la population. Le ratio de leur proportion des décès en comparaison à la proportion de la population qu'ils représentent est de 0,56 ($\frac{14,89 \div 26,47}{100}$). Ce ratio est beaucoup plus élevé chez les personnes âgées de 65 ans et plus, puisqu'ils représentent seulement 9,58 % de la population, mais 36,17 % des décès suite à un choc thermique. Leur proportion des décès est donc 3,78 fois plus importante que leur proportion de la population générale ($\frac{36,17 \div 9,58}{100}$). Une division du ratio de mortalité des personnes âgées par le ratio de mortalité chez les jeunes ($3,78 \div 0,56$) permet de savoir combien de fois les aînés sont plus à risque de mourir que les jeunes, soit 6,74 fois.

Il s'agit donc du coefficient qui permettra de pondérer la vulnérabilité réelle des personnes âgées en comparaison aux élèves. Pour faciliter les calculs, il sera arrondi à 7. Ainsi, il sera considéré que chaque personne âgée dans un quadrilatère est aussi vulnérable que sept

écoliers. Chaque écolier comptera pour une personne vulnérable; chaque personne âgée comptera pour sept personnes vulnérables. Il ne sera pas nécessaire de ramener les valeurs à un ratio puisque la superficie des trois quadrilatères est homogène.

Une fois que les populations vulnérables seront connues et pondérées (si nécessaire) pour chaque quadrilatère, elles seront normalisées sur une échelle de 0 à 1.

a. Quadrilatère Saint-Anselme

La population estudiantine de l'école Saint-Anselme est de 240 (École Saint-Anselme, s.d.). La résidence pour personnes âgées Sainte-Marie du quadrilatère, repérée grâce à Google Maps, compte 58 locataires. Afin de refléter la plus grande vulnérabilité des aînés, ce nombre est multiplié par le coefficient 7, ce qui donne une population pondérée de 406.

Le nombre de la population vulnérable pondérée représente donc 646 (240 + 406).

b. Quadrilatère Saint-Gabriel-Lalemant

L'établissement compte 332 écoliers (Ménard, 5 octobre 2019). Aucun centre de petite enfance ou pour personnes âgées n'a été identifié à l'intérieur du quadrilatère. La population vulnérable est donc de 332.

c. Quadrilatère des Nations

L'établissement compte 460 écoliers (Bellemare, 2020). Bien que le quadrilatère abrite un centre communautaire pour les aînés, il s'agit d'une clientèle de passage et non locataire. La population vulnérable est donc de 460.

d. Calculs notes

L'équation suivante permettra de distribuer les valeurs sur une échelle de 0 à 1.

$$\text{Note} = \frac{\text{valeur} - \text{valeur minimale}}{\text{valeur maximale} - \text{valeur minimale}}$$

$$\text{QSA} : (646-332) / (646-332) = 1$$

$$\text{QSG} : (332-332) / (646-332) = 0$$

$$\text{QdN} : (460-332) / (646-332) = 0,41$$

9. Indice de défavorisation

L'indice de défavorisation régional établi par le gouvernement du Québec propose cinq niveaux, allant de « matériellement et socialement très favorisé » à « matériellement et socialement très défavorisé ». Un niveau moyen de défavorisation, de 1 à 5, sera établi pour chaque quadrilatère en fonction de la carte de l'indice en ligne. Plus il sera élevé, plus le quadrilatère sera considéré comme vulnérable aux enjeux climatiques.

a. Quadrilatère Saint-Anselme

Selon la carte en ligne, le site obtient uniformément un indice de 4, soit « tendance à la défavorisation ».

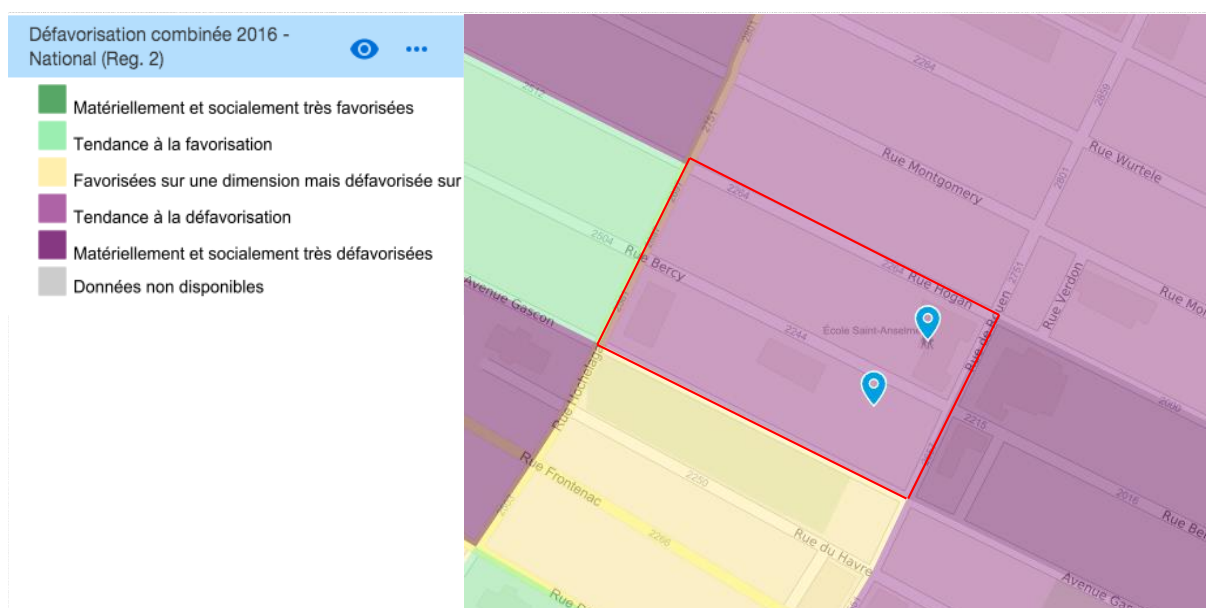


Figure 9.a Indice de défavorisation du quadrilatère Saint-Anselme

b. Quadrilatère Saint-Gabriel-Lalemant

Le quadrilatère obtient un indice de 3, soit « favorisé sur une dimension mais défavorisé sur une autre ».

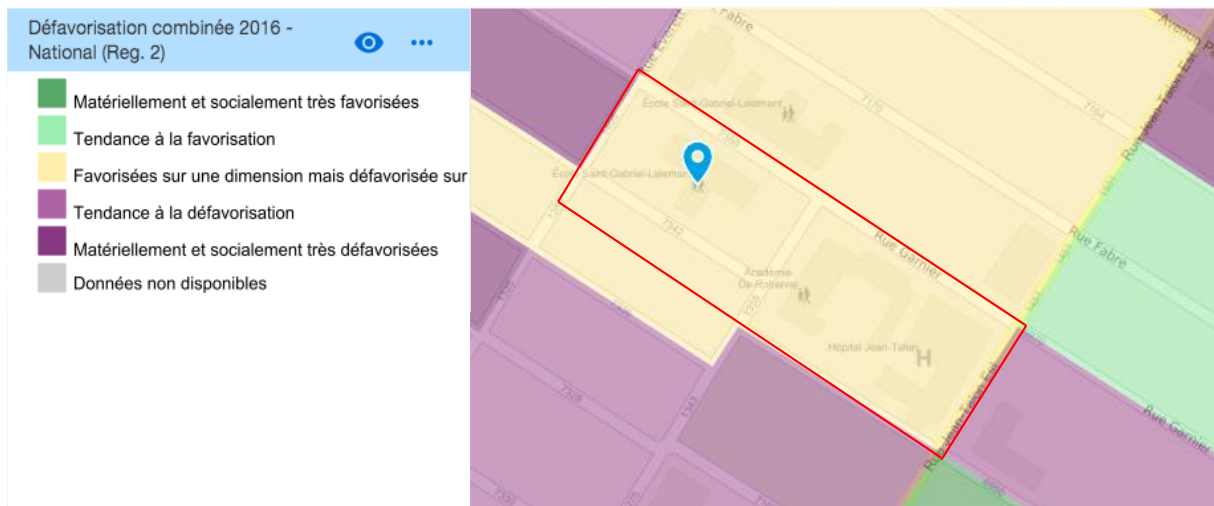


Figure 9.b Indice de défavorisation du quadrilatère Saint-Gabriel-Lalemant

c. Quadrilatère des Nations

Le quadrilatère se trouve dans une zone « matériellement et socialement très défavorisée », soit un indice de 5.

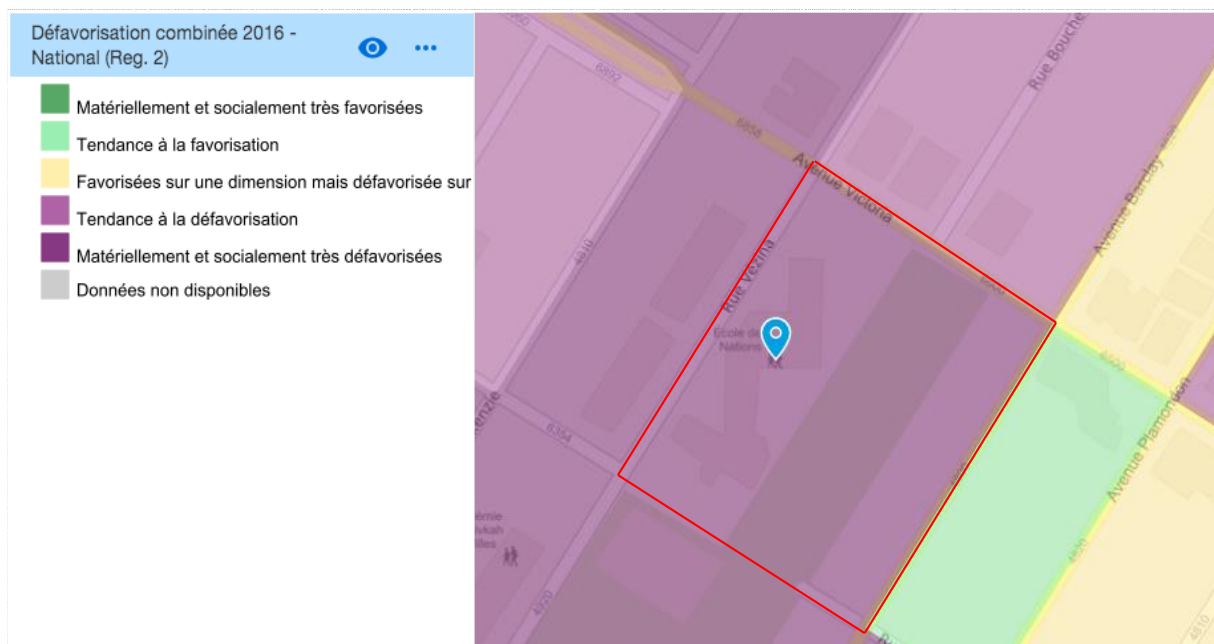


Figure 9.c Indice de défavorisation du quadrilatère des Nations

d. Calculs notes

L'équation suivante permettra de distribuer les valeurs sur une échelle de 0 à 1.

$$\text{Note} = \frac{\text{valeur} - \text{valeur minimale}}{\text{valeur maximale} - \text{valeur minimale}}$$

$$\text{QSA} : (4-3) / (5-3) = 0,5$$

$$\text{QSG} : (3-3) / (5-3) = 0$$

$$\text{QdN} : (5-3) / (5-3) = 1$$

10. Distance moyenne à un parc

La distance moyenne sera calculée à partir du centre du quadrilatère. La localisation du centre sera déterminée à l'aide de l'outil « Mesurer la distance » dans Google Maps. Il n'est pas nécessaire d'obtenir un ratio puisque les trois quadrilatères ont environ la même superficie. Des captures d'écran illustrent le tracé entre le centre des quadrilatères et le parc le plus près.

a. Quadrilatère Saint-Anselme

La distance entre le centre du quadrilatère et le parc adjacent Médéric-Martin est de 80 m.

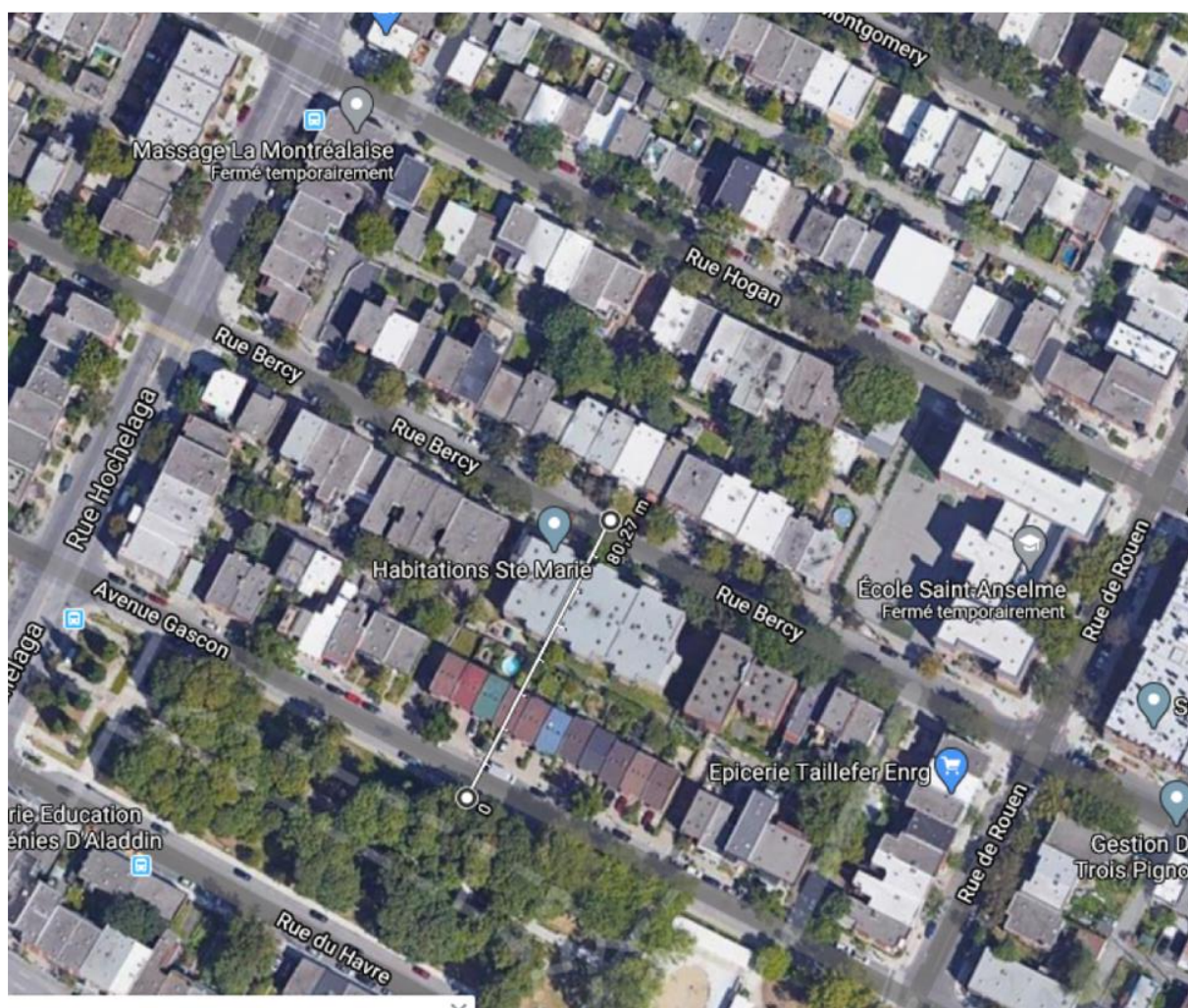


Figure 10.a Distance au parc Médéric-Martin à partir du centre du quadrilatère Saint-Anselme

b. Quadrilatère Saint-Gabriel-Lalemant

La distance au parc de Turin adjacent est de 67 m.

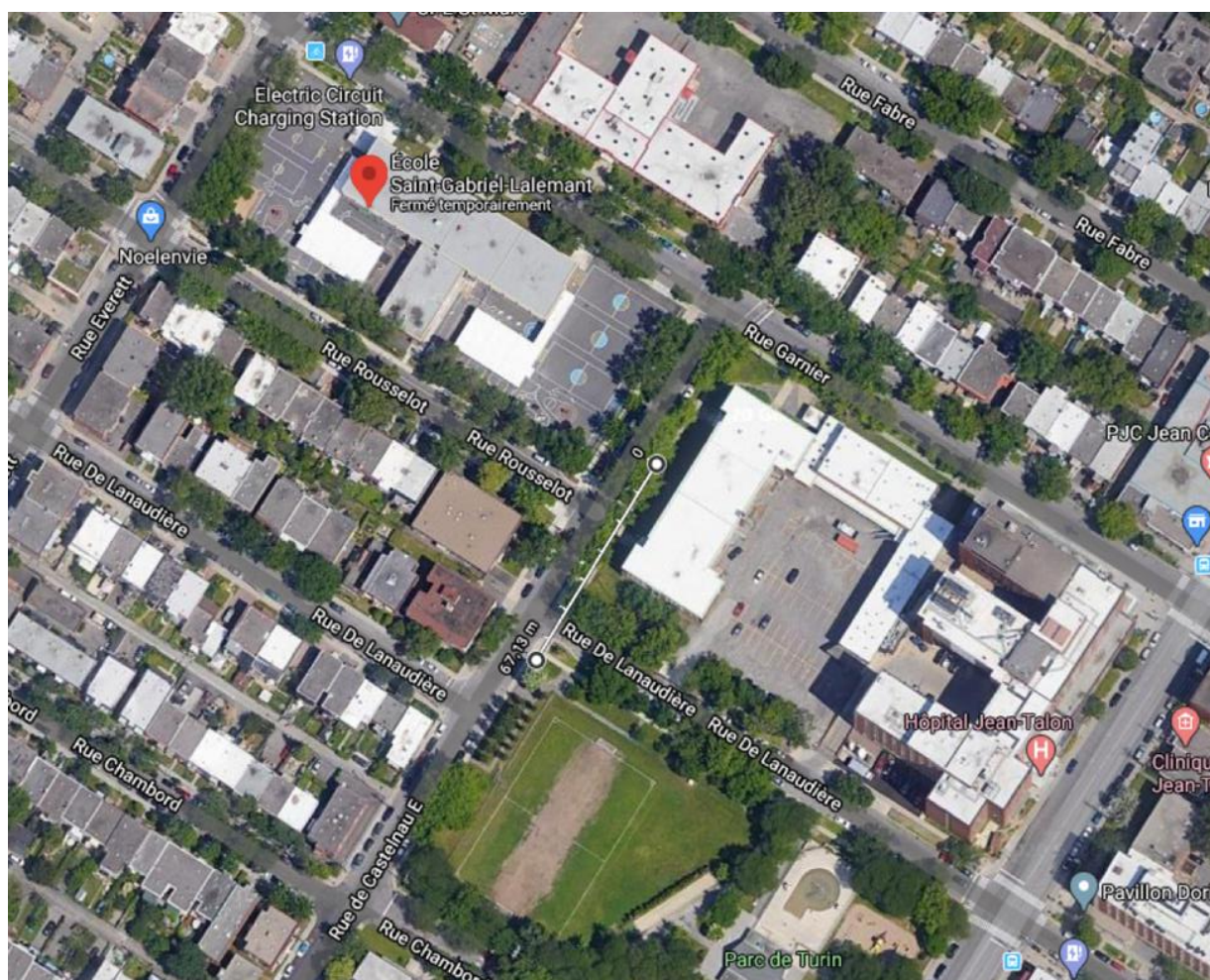


Figure 10.b Distance au parc de Turin à partir du centre du quadrilatère Saint-Gabriel-Lalemant

c. Quadrilatère des Nations

La distance au parc Nelson-Mandela est de 178 m.

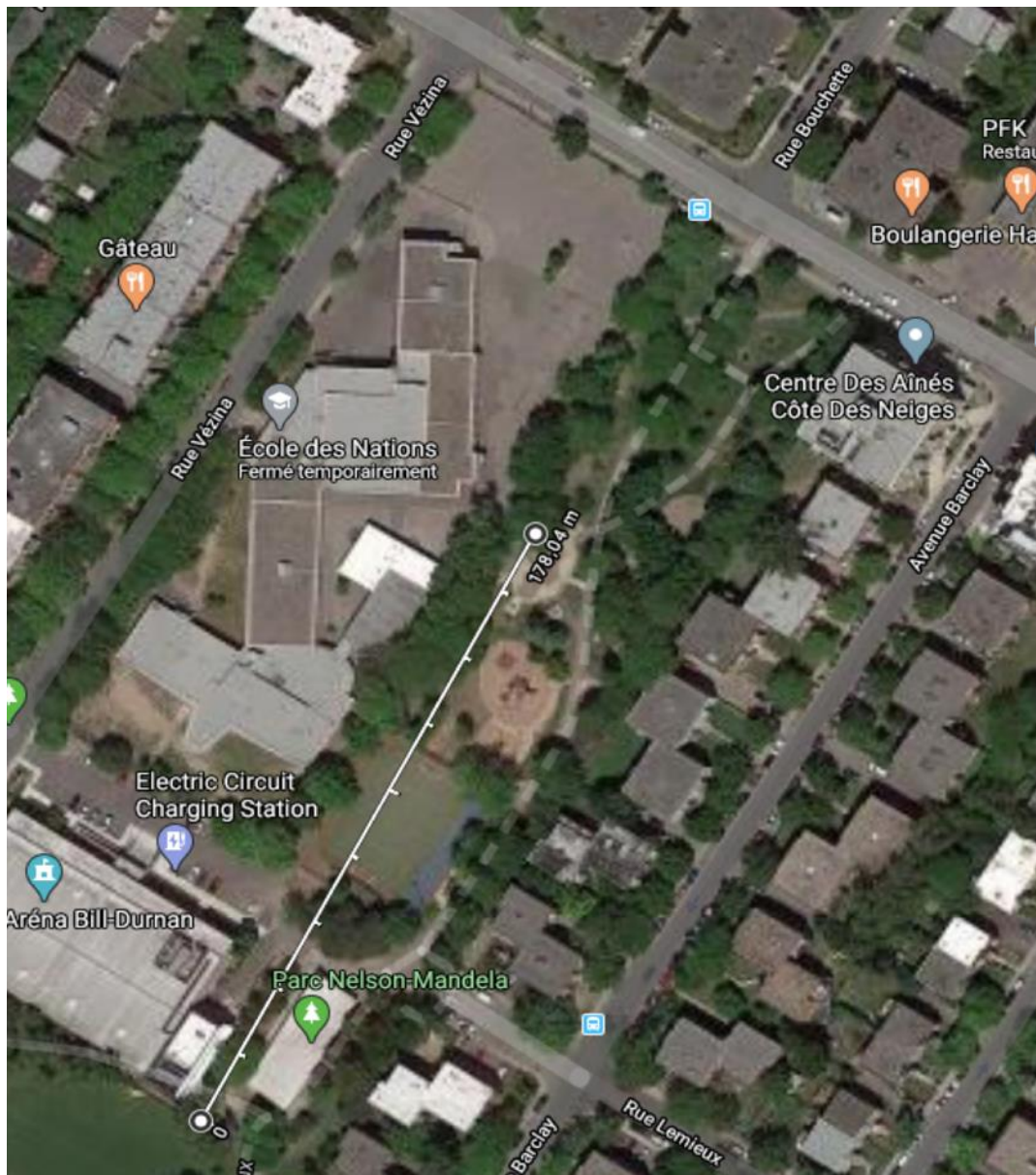


Figure 10.c Distance au parc Nelson-Mandela à partir du centre du quadrilatère des Nations

d. Calculs notes

L'équation suivante permettra de distribuer les valeurs sur une échelle de 0 à 1.

$$\text{Note} = \frac{\text{valeur} - \text{valeur minimale}}{\text{valeur maximale} - \text{valeur minimale}}$$

$$\text{QSA} : (80-67) / (178-67) = 0,12$$

$$\text{QSG} : (67-67) / (178-67) = 0$$

$$\text{QdN} : (178-67) / (178-67) = 1$$